

**Identificación de tareas críticas y diseño de un modelo tecnológico basado en IoT
para la mejora de la eficiencia en la producción de huevo**

Leonardo Ramirez Bejarano

Asesor

July Natalia Mora Alfonso

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Maestría en Gestión de Tecnologías de la Información

2026

Resumen

El propósito de la presente investigación es identificar las labores más demandantes en tiempo y esfuerzo para la producción de huevos provenientes de gallinas en pastoreo, para luego investigar y analizar las posibles tecnologías que pudieran reemplazar o aliviar el esfuerzo y reducir los tiempos dedicados a tales labores. Estas tecnologías se integraran en un diseño conceptual de TI. Los datos para la identificación y análisis de estas labores, serán recolectados directamente con los avicultores ubicados en la sabana de Bogotá, realizando encuestas presenciales. Se contemplarán labores como buscar, recoger y limpiar los huevos, limpieza del gallinero, evitar proliferación de enfermedades, evitar picaje de plumas, entre otras. Los resultados de la investigación serán base de consulta para avicultores y emprendedores que buscan mejorar la eficiencia en la producción de huevos a gran escala, aprovechando la tecnología disponible.

Palabras clave: Gallinas, Huevos, Pastoreo, Jaulas, IoT.

Abstract

The purpose of this research is to identify the most time- and effort-intensive tasks involved in egg production from free-range hens, and then to investigate and analyze potential technologies that could replace or alleviate this effort and reduce the time dedicated to these tasks. These technologies will be integrated into a conceptual IT design. Data for identifying and analyzing these tasks will be collected directly from poultry farmers located in the Bogotá savanna through in-person surveys. Tasks such as searching for, collecting, and cleaning eggs, cleaning the henhouse, preventing disease outbreaks, and preventing feather pecking, among others, will be considered. The research results will serve as a reference for poultry farmers and entrepreneurs seeking to improve the efficiency of large-scale egg production by leveraging available technology.

Keywords: Chickens, Eggs, Grazing, Cages, IoT.

Contenido

Introducción	9
Planteamiento del Problema	13
Justificación	14
Objetivos	17
Marco Conceptual y Teórico	18
Mayores Desafíos al Producir Huevos Procedentes de Gallinas en Pastoreo.....	21
Áreas Desafiantes sobre “Cage Free” que Pueden ser Beneficiadas con TI.....	37
Tecnologías Emergentes para la Producción de Huevos en Ambientes de Pastoreo....	42
El Marco de la Ganadería de Precisión (PLF).....	43
Métodos de Captura de Datos y Sensores Específicos	48
Sistemas de Visión Artificial y Aprendizaje Profundo (<i>Deep Learning</i>)	53
Tecnologías Emergentes para Salud y Control de Comportamiento de Gallinas	58
Visión artificial e inteligencia artificial (IA).....	62
Sistema Automatizado Para Afrontar los Desafíos de Producción Avícola	65
Sensores IoT (Internet of Things)	65
Tecnología RFID (Radio Frequency Identification).....	67
Plataformas de Análisis de Datos y Cloud Computing.....	70
Análisis de los Resultados de las Encuestas	76

Análisis Comparativo de las Granjas Avícolas	88
Indicadores de evaluación del modelo tecnológico	93
Diseño del Modelo Conceptual Tecnológico.....	96
Conclusiones	102
Referencias Bibliográficas	104

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>El Uso de la Tierra y Recursos</i>	30
Tabla 2 <i>TI Aplicada a Cage Free</i>	38
Tabla 3 <i>Indicadores de Beneficios del Sistema PLF</i>	46
Tabla 4 <i>Rendimiento de Modelos Yolo</i>	54
Tabla 5 <i>Comparación Proceso Tradicional-Automatizado</i>	61
Tabla 6 <i>Aplicación de la Tecnología RFID</i>	69
Tabla 7 <i>Plataformas y Ecosistemas Reales</i>	74
Tabla 8 <i>Resultados Encuesta, Granja Alaska</i>	78
Tabla 9 <i>Indicadores Clave Para Análisis, Granja Alaska</i>	78
Tabla 10 <i>Resultados Encuesta, Granja El Bosque</i>	81
Tabla 11 <i>Indicadores Clave Para Análisis, Granja El Bosque</i>	81
Tabla 12 <i>Resultados Encuesta, Granja San Jorge</i>	83
Tabla 13 <i>Indicadores Clave para Análisis, Granja San Jorge</i>	84
Tabla 14 <i>Resultados Encuesta, Granja San Juan</i>	86
Tabla 15 <i>Indicadores Clave Para Análisis, Granja San Juan</i>	86
Tabla 16 <i>Cuadro Comparativo de Granjas Avícolas</i>	88
Tabla 17 <i>Cuadro de Relación Problema – Solución Tecnológica</i>	90
Tabla 18 <i>Comparación de Resultados Granja Tradicional-Granja Tecnificada</i>	92
Tabla 19 <i>Indicadores Definidos para Evaluar el Impacto del Modelo Propuesto</i>	95

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Ilustración de Sistemas de Producción Avícola</i>	30
Figura 2 <i>Métodos de Captura de Datos y Sensores</i>	52
Figura 3 <i>Flujo Arquitectura Ti para “Cage Free”Flujo Arquitectura Ti</i>	72
Figura 4 <i>Modelo Conceptual para la Optimizacion Cage-Free</i>	105
Figura 5 <i>Flujo Arquitectonico del Modelo</i>	100

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Encuesta 1</i>	109
Apéndice B <i>Encuesta 2</i>	110
Apéndice C <i>Producción Nacional de Huevo, Fenavi</i>	112
Apéndice D <i>Encuesta Online</i>	111

Introducción

La avicultura moderna se ha consolidado como un pilar fundamental en el suministro global de proteínas animales, destacando su eficiencia y la alta calidad de sus productos. Factores como los relativamente bajos costos de inicio y los requisitos de alojamiento sencillos, posicionan a la avicultura como una actividad prometedora, tanto para pequeños productores como para emprendedores agropecuarios que buscan diversificar sus ingresos.

Sin embargo, la imagen tradicional de la producción avícola a gran escala, con sus densos galpones y jaulas en batería, plantea preocupaciones sobre el bienestar animal y la calidad del producto. Estudios recientes, sugieren que los sistemas intensivos pueden afectar negativamente la calidad de los huevos, debido al estrés que experimentan las aves en estos ambientes. En contraposición, existe una creciente tendencia hacia sistemas de alojamiento alternativos, como los que se observan en la Unión Europea y que se extienden gradualmente por América Latina, donde se prioriza el bienestar de las gallinas a través de espacios más amplios y libertad de movimiento, a este método de crianza comúnmente se le llama gallinas en Pastoreo.

Esta transición hacia sistemas de producción avícola más extensivos, como la cría en pastoreo, presenta nuevos desafíos, especialmente para los pequeños productores en países en desarrollo. A las dificultades tradicionales de la avicultura, como la mano de obra, el manejo de enfermedades y desechos, se suman particularidades de los sistemas de pastoreo que requieren soluciones innovadoras. En este contexto, la tecnología emerge como una herramienta clave para optimizar la producción avícola en pastoreo, permitiendo a los productores superar estos obstáculos y aprovechar el potencial de este enfoque productivo.

El presente documento explora la perspectiva actual sobre la avicultura al pastoreo y el papel fundamental que juegan las tecnologías de la información en su desarrollo. Se analizan los desafíos específicos de este sistema de producción, las oportunidades que ofrece la tecnología para abordarlos y las tendencias emergentes en la avicultura de precisión, con el objetivo de promover una producción avícola sostenible, eficiente y que responda a las demandas de un consumidor cada vez más consciente del bienestar animal y la calidad de los alimentos.

La creciente necesidad de superar las limitaciones inherentes a la mano de obra en sistemas avícolas extensivos ha impulsado la adopción de soluciones tecnológicas avanzadas. En este sentido, la Ganadería de Precisión (PLF) emerge como la estrategia clave, aplicando principios de ingeniería de procesos para el monitoreo automático y continuo del bienestar y la eficiencia productiva de las aves. Este enfoque se fundamenta en la integración y análisis de grandes volúmenes de datos (*Big Data*) generados por tecnologías sensoriales. Específicamente, la visión artificial y el *aprendizaje profundo* (deep learning), utilizando modelos como YOLOv5, son cruciales para la clasificación y rastreo de comportamientos de las gallinas, incluyendo actividades complejas como caminar, anidar o bañarse en polvo. Esta capacidad de monitoreo es vital para abordar problemas concretos de eficiencia en el pastoreo, como la detección de la puesta de huevos incorrecta (*mallaying conduct*) o en el piso (*floor egg*), un factor que incrementa considerablemente los costos de mano de obra y la preocupación por la seguridad alimentaria. La meta es integrar eficientemente estos datos de producción y comportamiento con la información de inventario de alimentos y suministros para desarrollar una herramienta de gestión empresarial robusta y apoyada en tecnologías de la

información, que logrará optimizar los procesos, reducir el desperdicio y mejorar la rentabilidad de la producción de huevos en pastoreo a gran escala

Aunque la cría en pastoreo ofrece ventajas significativas en calidad y bienestar, la limitación principal para su expansión a gran escala es la inversión adicional requerida en mano de obra. Los avicultores que buscan maximizar su eficiencia productiva a menudo no cuentan con herramientas de gestión apoyadas en tecnologías de la información que les permiten reducir el esfuerzo y el tiempo dedicado a las tareas cotidianas. Los trabajos identificados como los más demandantes en tiempo y esfuerzo incluyen buscar, recoger y limpiar los huevos, la limpieza del gallinero, y las prácticas preventivas para evitar la proliferación de enfermedades. Un desafío operacional crítico inherente a los sistemas sin jaulas es el comportamiento de puesta de huevos en el piso (*floor egg*), que no solo genera preocupación por la seguridad alimentaria, sino que impone también altos costos de mano de obra al representar entre el 5% y el 10% de la producción diaria total. Por lo tanto, el propósito de esta investigación se enfoca directamente en identificar las labores más consumidoras de tiempo y esfuerzo en la producción a gran escala de huevos de gallinas en pastoreo, para luego analizar y diseñar tecnologías que puedan reemplazar o aliviar dicho esfuerzo, sentando las bases para el desarrollo de una herramienta de gestión empresarial enfocada en la optimización de procesos

Para llevar a cabo la investigación y el desarrollo de la herramienta de gestión, se implementará una metodología que se enfoca en la Investigación-Acción Participativa (IAP) y la Investigación Tecnológica (IT). El proceso investigativo se centrará inicialmente en una fase de planificación la cual comenzará con la identificación de las labores más demandantes en tiempo y esfuerzo para la producción de huevos provenientes de gallinas en pastoreo.

La recopilación de datos para identificar y analizar estas tareas se realizará directamente con avicultores ubicados en la sabana de Bogotá a través de encuestas presenciales. Además, se consultarán encuestas disponibles en línea realizadas previamente en este campo. Las labores a considerar incluyen la búsqueda, recolección y limpieza de los huevos, la limpieza del gallinero, la prevención de la proliferación de enfermedades y la prevención del picaje de plumas, entre otras. Los resultados obtenidos de esta investigación servirán como base de consulta para avicultores y emprendedores interesados en mejorar la eficiencia en la producción de huevos a gran escala de gallinas en pastoreo mediante el uso de la tecnología disponible.

Este enfoque metodológico busca no solo investigar de forma tradicional, sino también intervenir un escenario concreto mediante el trabajo participativo de la comunidad, realzando la subjetividad de la comunidad en interacción conjunta con el investigador. El proyecto se apoya en el diálogo de saberes y la investigación campesina, con el objetivo de generar innovaciones tecnológicas que benefician directamente a los productores. Además de la recopilación de datos inicial, el proyecto incluye el diseño de un sistema de captura de datos que integra diversas fuentes de información (producción, salud, inventario) y la implementación de un sistema de gestión de inventario para optimizar el uso de recursos y reducir costos.

Planteamiento del Problema

El problema central que limita la escalabilidad de la producción de huevos de gallinas en pastoreo o sistemas sin jaula, es la elevada dependencia de la mano de obra necesaria para realizar tareas esenciales de manejo y recolección. Esta limitación se hace evidente cuando pequeños avicultores quieren migrar su producción de sistemas con jaula a uno sin jaula, o cuando avicultores en sistemas sin jaula quieren agrandar su lote de gallinas y producir huevos a gran escala. A estos avicultores les cuesta trabajo mantener el sistema de producción sin jaula por los altos costos que se demanda en mano de obra, y todo esto a raíz del desconocimiento de los desafíos que trae este sistema y también por el desconocimiento de las tecnologías que les podría ayudar a reducir el tiempo y el esfuerzo invertido en las labores más demandantes.

Una de las tareas más críticas y que consumen más tiempo y esfuerzo es la recolección manual de huevos extraviados en el suelo (*floor egg*) y controlar la salubridad de la parvada. En los galpones sin jaula, los huevos puestos fuera de los nidos deben ser recogidos a mano, lo cual resulta laborioso y requiere mucho tiempo. Este manual de recolección es una de las tareas que los interesados en la Ganadería de Precisión (PLF) han identificado como demandante en términos de carga de trabajo, tiempo y placer laboral, lo que subraya la necesidad de buscar soluciones de automatización.

Por lo tanto, la pregunta que resolvería esta investigación sería: ¿Cómo se puede producir huevos provenientes de gallinas en pastoreo a gran escala con la ayuda de tecnologías de la información (TI), para superar la limitación impuesta por la elevada dependencia de la mano de obra enfocada en la recolección manual de huevos extraviados (*floor egg*) y revisión del comportamiento de las gallinas?

Justificación

El desarrollo de sistemas de producción de huevos de gallinas en pastoreo se justifica por una confluencia de factores que incluyen la creciente demanda global de alimentos, el bienestar animal, las ventajas nutricionales y la sostenibilidad ambiental. La población mundial alcanzó los 8 mil millones en 2023 y se proyecta que aumentará a 9,7 mil millones para 2050 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2022) lo que exige un crecimiento del 50% en los productos de origen animal para satisfacer la demanda (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017).

En este panorama, la producción de huevos de gallinas en pastoreo ofrece múltiples beneficios. Por un lado, diversos estudios han reportado diferencias en características nutricionales y parámetros de calidad entre huevos producidos en sistemas libres de jaula y sistemas convencionales, asociadas a factores como dieta, estrés y condiciones de alojamiento. Los estudios sugieren que los sistemas de producción con menor densidad y mayor libertad de movimiento pueden influir en parámetros de calidad del huevo, incluyendo composición lipídica y características físicas, en comparación con sistemas intensivos (Korver, 2023; Yang et al, 2023). Además, estos productos mejoran la dieta humana al eliminar químicos en la alimentación de las gallinas y mejorar la calidad alimenticia de los huevos. También, los comportamientos del consumidor han cambiado, diversos estudios evidencian una mayor disposición a pagar por productos asociados a prácticas de bienestar animal y sistemas de producción percibidos como más naturales (Lusk & Norwood, 2011).

En el contexto local, la producción de huevos en Colombia ha mostrado un crecimiento notable, alcanzando los valores previos a la cuarentena en octubre de 2023, con proyecciones de un crecimiento aún mayor en 2024 para el área ganadera (Federación

Nacional de Avicultores de Colombia [FENAVI], 2024). Además, el sistema de pastoreo se alinea con objetivos de cuidado ambiental al proponer el cambio de la producción bovina por la avícola y al promover el uso de los desechos de las aves como abono para la tierra. Éticamente, representa un mejor trato para la gallina contrastando con los sistemas de hacinamiento en galpones o jaulas donde muchas aves mueren por asfixia.

No obstante, para que este sistema productivo, orientado a la calidad y al bienestar animal, sea viable a gran escala, es necesario superar las limitaciones asociadas al incremento de la mano de obra manual. En este contexto, el presente proyecto se enfoca en el diseño y aplicación de tecnologías de la información que permitan optimizar los procesos operativos en la producción de huevos provenientes de gallinas en pastoreo. La integración de estas herramientas tecnológicas resulta fundamental para mejorar la eficiencia, reducir costos operativos y garantizar la rentabilidad del sistema, sin comprometer los estándares de calidad, sostenibilidad y bienestar animal que lo caracterizan.

La expansión de la producción de huevos en pastoreo (*cage-free*) se ve obstaculizada por un desconocimiento crucial por parte de los avicultores y emprendedores. Esta limitación operativa se manifiesta porque a estos productores les resulta difícil mantener la rentabilidad del sistema sin jaula debido a los altos costos demandados en mano de obra (Rodenburg, 2022). Esta dificultad se origina en el desconocimiento de los desafíos que trae consigo la gestión de este sistema más extensivo, como el manejo de grandes parvadas, la prevención de enfermedades o la recolección de huevos extraviados en el suelo. Más aún, existe un desconocimiento de las tecnologías disponibles, en particular las Tecnologías de la Información (TI), que podrían aliviar el esfuerzo y reducir el tiempo invertido en las labores más demandantes. Esta brecha de conocimiento lleva a que muchos productores perciban la migración a sistemas sin jaula como un riesgo más que como una

oportunidad. Por lo tanto, los resultados de esta investigación se justifican al proveer una base de consulta esencial para avicultores y emprendedores, facilitando la mejora de la eficiencia productiva a gran escala mediante el aprovechamiento de la tecnología disponible

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo tecnológico basado en principios de Ganadería de Precisión (PLF), que permita identificar las labores de mayor demanda de tiempo y esfuerzo en sistemas de producción de huevos de gallinas en pastoreo o sin jaula, con el fin de reducir la carga operativa mejorando la eficiencia productiva de pequeños y medianos avicultores.

Objetivos Específicos

Identificar las principales limitaciones operativas en sistemas de producción de huevos para determinar los procesos susceptibles de automatización.

Analizar tecnologías emergentes aplicables a la producción avícola, con el propósito de evaluar su viabilidad técnica para reducir la dependencia de la mano de obra en la detección de huevos extraviados y el monitoreo del bienestar animal.

Diseñar un prototipo conceptual en la detección de huevos extraviados en piso (FELB) y monitoreo del bienestar del lote, con el fin de disminuir la dependencia de la mano de obra.

Marco Conceptual y Teórico

La avicultura, tradicionalmente enfocada en maximizar la eficiencia productiva mediante sistemas de confinamiento, está experimentando una profunda transformación impulsada por una creciente demanda de bienestar animal y una producción más ética y sostenible. En este contexto, emergen y se consolidan los modelos de cría "libre de jaula" (cage-free) y "en pastoreo", que representan una respuesta directa a las preocupaciones de los consumidores sobre la calidad de vida de las aves.

Aunque ambos sistemas se oponen al confinamiento en jaulas en batería, es crucial entender sus diferencias para comprender su impacto y alcance:

La avicultura en pastoreo (*Pastured* o *Free-Range*) lleva el bienestar un paso más allá. Además de estar libres de jaulas y tener un refugio (galpón), las aves cuentan con acceso regular y significativo a áreas exteriores, como corrales, pastizales o praderas. Las gallinas tienen acceso al aire libre y al pasto. Esto les permite expresar su conducta de forrajeo (picoteo, escarbado, caza de insectos), enriqueciendo su dieta y mejorando su salud física y mental.

La adopción de estos sistemas no solo mejora el bienestar de las aves, reduciendo el estrés y la susceptibilidad a ciertas enfermedades, sino que también ofrece un producto (carne y huevos) percibido como de mayor calidad y valor nutritivo por una parte creciente del mercado. Sin embargo, su implementación conlleva desafíos, como un mayor requerimiento de espacio, una mayor exposición a depredadores y variaciones climáticas, y potencialmente costos de producción más altos que se reflejan en el precio final.

Según DR Korver (2023) “La industria avícola se ha convertido en el principal proveedor mundial de proteínas animales eficientes y de alta calidad” y sumando algunos otros factores como los bajos costos iniciales y los sencillos requisitos de alojamiento; la

avicultura promete convertirse en uno de los alimentos más demandados y en una de las más potenciales fuentes de ingresos para pequeños avicultores o emprendedores que les agrada el agro y quisieran sacar provecho a sus campos.

Normalmente cuando se piensa en industria avicultura viene a la mente grandes galpones donde se alojan miles de gallinas en pequeños espacios, atiborradas sobre pisos de hormigón; o industrias avícolas donde las gallinas se encuentran en baterías de jaulas alimentadas exclusivamente con alimentos diseñados y compactados en laboratorio. La gran demanda requiere producción de huevos a gran escala como en estos lugares, pero estos sistemas también tiene sus inconvenientes. Según Yang et al. (2023) “la calidad de los huevos provenientes de gallinas criadas en estos ambientes, suelen ser de menor calidad que los huevos de gallinas criadas en ambientes menos estresantes. También las jaulas en batería (pequeños recintos de alambre, que generalmente albergan de 5 a 7 gallinas), proporcionan muy poco espacio (típicamente 432 cm² por gallina) lo cual repercute en mayor estrés para las gallinas.

En la Unión Europea, uno de los principales cambios en el sector de producción de huevos son los cambios en los sistemas de alojamiento, con un abandono gradual de las jaulas seguido del desarrollo de una amplia variedad de alojamientos sin jaulas, como graneros, corrales y granjas (Bécot et al., 2023). Estos cambios igualmente se están reflejando en América latina, no necesariamente por disposiciones legales, sino por las facilidades que representan para personas con bajos ingresos, pues la cría de gallinas frente a otros animales de campo, no requiere de tanta inversión inicial y es llamativo para las nuevas generaciones la idea de “liberar” a las gallinas y buscar un mayor beneficio para los animales.

La avicultura familiar todavía desempeña un papel importante en los países en desarrollo al proporcionar productos animales de alta calidad, incluidos huevos y carne de aves, para el consumo familiar y local. Mas sin embargo, estas familias también se encontraran con desafíos que grandes industrias avícolas enfrentaron al intentar expandir su producción, desafíos como la mano de obra necesaria para mantener a tantos animales alimentados y seguros, como los cuidados necesarios para evitar brotes de enfermedades por el clima y atiborramiento y por los desechos.

Para afrontar estos desafíos manteniendo un sistema realmente rentable, es necesario el uso de la tecnología. Las principales contribuciones de la tecnología aplicada a la avicultura, incluyen el monitoreo y control de la temperatura, la humedad y el suministro de agua. Esta tecnología de monitoreo minimiza los costes laborales y ahorra tiempo. Además, el sistema ofrece capacidades de bioseguridad, programación de luz y control de encendido automático. Todo estos beneficios pueden ser clasificados según la necesidad de cada avicultor y encontrar la mejor tecnología que pudiera reducir los costos de mano de obra y tiempo convertido en el cuidado de gallinas en pastoreo y la producción de sus huevos.

Mayores Desafíos al Producir Huevos Procedentes de Gallinas en Pastoreo

El área avícola busca lograr un producto de calidad y llamativo para los clientes como lo son los huevos. Inicialmente este objetivo era fácilmente logrado permitiendo un habitat seguro y sin estrés para las gallinas, lo cual permitía el desarrollo de un huevo de mejor en calidad alimenticia y mejor sabor. Actualmente ante la gran demanda de huevos y para hacerlos llamativos al cliente, las industrias avícolas han logrado producir grandes cantidades de huevos y de grandes dimensiones con la ayuda de tecnología, pero a déficit de su calidad alimenticia y sabor. La gran mayoría de tecnología y estudios referentes a la producción de huevos, está enfocada en industrias avícolas con gallinas mantenidas en jaulas o en galpones, pero debido al interés general de comer sano lo más natural posible y al crecimiento de esta forma de criar gallinas, es relevante volver a producir huevos de calidad como se hacía antes, teniendo a las gallinas libres al campo abierto pero ofreciendo la cantidad actualmente demandada.

La Figura 1 presenta una ilustración comparativa entre dos sistemas de producción avícola utilizados en la industria del huevo. En la parte izquierda se muestra el sistema con jaulas, caracterizado por el alojamiento de las gallinas en estructuras cerradas que permiten un control más intensivo del espacio, la alimentación y la recolección de huevos. Por su parte, en la parte derecha se ilustra el sistema sin jaulas, en el cual las aves tienen mayor libertad de movimiento dentro del galpón o áreas de pastoreo, lo que favorece la expresión de comportamientos naturales. Esta comparación permite evidenciar las diferencias estructurales y de manejo entre ambos sistemas, destacando que los sistemas “cage-free” implican mayores desafíos en términos de monitoreo, manejo operativo y recolección de huevos, aspectos que motivan la incorporación de tecnologías digitales para mejorar la eficiencia productiva.

Figura 1

Ilustración de Sistemas de Producción Avícola con Jaula (Izquierda) y sin Jaula



Nota. Diferencias estructurales entre el alojamiento intensivo en jaulas y los sistemas de pastoreo con libertad de movimiento. Tomado de. Poultry Network. Jake Davies. (2026) <https://poultry.network/new-report-highlights-global-move-to-cage-free-egg-production/>

Esto representa para los avicultores grandes desafíos, pues los métodos de alimentación, alojamiento, recolección de huevos y cuidado de las gallinas en pastoreo difiere al de las gallinas tenidas en jaula o galpones. Un desafío de estos sería como los avicultores recolectarían sus huevos. Por ejemplo, en los galpones o gallinas en jaulas, ellas ponen sus huevos dentro de un nido o caen directamente a una banda de recolección; en el caso de las gallinas en pastoreo, aunque se les puede enseñar a poner sus huevos en nidos prediseñados, algunas pueden poner sus huevos en cualquier lugar, siendo este uno de los problemas que enfrentarían los avicultores. “Las granjas con un manejo deficiente pueden tener hasta el 10% de los huevos diarios en el piso” (Bist et al., 2023)

Lara et al. (2023) realizó una encuesta a criadores de gallinas ponedoras, veterinarios avícolas y expertos en aves de Europa occidental y Canadá para identificar y priorizar indicadores de salud y bienestar óptimos y subóptimos de las gallinas ponedoras en granjas comerciales. Se encontró que la mayoría identificó el uso del consumo de

alimento y agua, la producción y calidad de huevos, el sonido, la actividad y el movimiento de las gallinas, como indicadores importantes para evaluar la salud y el bienestar de las mismas y sus huevos.

T. Bas Rodenburg (2022) y su equipo, realizaron otra encuesta muy útil en los participantes de la Sociedad Internacional de Etología Aplicada (ISAE), para identificar los principales temores o desafíos que enfrentarían los avicultores, si se aventuran a sacar sus gallinas de los galpones al campo abierto. Se identificaron varios desafíos para la producción de huevos de gallina sin jaula:

- **Picaje de plumas, canibalismo y recorte de pico para evitarlo:** En los sistemas libres de jaulas, las aves interactúan con un grupo más numeroso y un entorno más complejo, lo que favorece conductas como el picaje de plumas y el canibalismo. Estas conductas pueden extenderse con rapidez a toda la parvada y repercuten en la productividad y en el bienestar de las gallinas. El picaje consiste en el picoteo del plumaje de otras aves. La Guía Hennovation advierte que este comportamiento está presente en la mayoría de las parvadas y es especialmente difícil de controlar en sistemas sin jaulas, donde puede propagarse rápidamente. Temple et al. (2017) indican que “El picaje se observa tanto en aves con picos intactos como en aves recortadas y su prevalencia puede afectar al 40-77 % de las gallinas”. Hay dos grados principales de picaje:

Picaje leve: son pequeños picoteos en la punta de las plumas que raramente extraen plumas y suelen estar relacionados con la socialización.

Picaje grave: implica tirones violentos que arrancan plumas; suele observarse en la zona del dorso, la cloaca y la base de la cola. El daño deja huecos en el plumaje que estimulan nuevos picoteos y puede desencadenar heridas e infecciones.

Según Nicol y Davies (2013), la imposibilidad de expresar comportamientos naturales como rascar el suelo o picotear provoca frustración y aumenta la probabilidad de que una gallina comience a picotear las plumas. Este comportamiento tiene una base genética y se ve exacerbado por factores ambientales como la dieta y la calidad de la cama. El picaje grave obliga a las aves a destinar más energía a la termorregulación por la pérdida de plumaje, lo que incrementa el consumo de alimento; las pérdidas económicas pueden llegar a aumentar los costos de alimentación hasta un 40 %.

El canibalismo es la forma más extrema del picaje y se define como la ingestión de carne o sangre de otra ave. Ellos explican que este problema, común en gallinas ponedoras, suele originarse a partir del picaje grave o del picaje de la cloaca, comportamientos que se disparan por frustración o estrés. Una vez aprendido, el canibalismo se propaga rápidamente en la parvada y puede ocasionar altos niveles de mortalidad.

El Manual MSD de veterinaria señala que el canibalismo se asocia a varios factores de riesgo: genética, alta densidad de animales, excesiva intensidad luminosa, desequilibrios nutricionales y prolapsos de la mucosa cloacal. La presencia de sangre en la piel expuesta incentiva más picotazos y aumenta la mortalidad. Controlar el canibalismo requiere corregir estos factores: mejorar las dietas, proporcionar material de cama y forraje, reducir la intensidad de la luz, ofrecer perchas y proporcionar enriquecimiento ambiental.

Para reducir lesiones producidas por el picaje y el canibalismo, la industria suele recurrir al recorte de pico. Esta práctica consiste en cortar o quemar el extremo del pico superior, a menudo hasta dos tercios, en los primeros días de vida, generalmente mediante cuchilla caliente o energía infrarroja. Aunque reduce el daño producido por el picaje, se subraya que el recorte no aborda la raíz del problema y puede ser doloroso

La guía Hennovation de Temple et al. (2017), indica que el picaje grave ocurre incluso en aves con los picos recortados y que la prevalencia de esta conducta puede alcanzar hasta el 77 %. Además, el pico es un órgano sensorial con termorreceptores y mecanorreceptores; su mutilación puede causar dolor, neuromas y comprometer funciones esenciales como la alimentación, la bebida, el acicalamiento y la exploración del entorno. Por estas razones, varios países (Suecia, Noruega, Finlandia, Austria y Suecia) han prohibido o restringido el recorte de pico.

Para minimizar el picaje y el canibalismo sin recurrir al recorte de pico, se recomiendan estrategias de manejo integrales:

- Suministro de materiales para picotear y forraje: ofrecer paja picada, hortalizas u otros materiales incentiva a las aves a picotear el suelo en lugar de atacarse entre sí.
- Mejorar la calidad de la cama y la alimentación: mantener una cama seca y friable y suministrar dietas en forma de alimento triturado en lugar de granulados pueden reducir la incidencia de picaje.
- Controlar la luz y el espacio: reducir la intensidad de la luz sin perjudicar la visión y asegurar suficiente espacio con perchas y nidos adecuados ayuda a prevenir el picaje y el canibalismo
- Selección genética y crianza temprana: existen programas de selección genética que buscan aves con menor tendencia al picaje o con picos más cortos, ya que las aves con picos romos infligen menos daño. Además, la guía Hennovation aconseja ofrecer a las pollitas acceso temprano a la cama y a materiales de exploración para evitar la aparición de picaje grave.

- **Gestión más difícil:** La producción de huevos sin jaulas implica una gestión mucho más exigente que los sistemas convencionales. En las pajareras o sistemas multinivel, las gallinas deben desplazarse en tres dimensiones; el diseño debe garantizar espacios suficientes, rampas y plataformas para que puedan moverse con seguridad y sin estrés. Compassion in Food Business (2019), advierten que estas instalaciones deben contar con niveles independientes y ventilación adecuada para evitar problemas de calidad del aire, y que la transición desde jaulas a sistemas sin jaulas requiere adaptar estructuras y reducir la densidad de aves por metro cuadrado. Esta infraestructura compleja incrementa las tareas de mantenimiento: es necesario proporcionar más espacio en perchas, camas secas para los baños de polvo y más áreas de nidos y recursos de forraje para evitar peleas y estrés.

El control del comportamiento también se vuelve más difícil. En los galpones sin jaulas conviven cientos de aves, por lo que problemas como el picoteo de plumas y el canibalismo pueden pasar desapercibidos y agravarse rápidamente. Las consecuencias de no diagnosticar a tiempo estas conductas son más graves en los sistemas libres de jaulas porque las aves interactúan físicamente en un espacio común; una vez que el canibalismo se establece, su control se vuelve más difícil y desafiante. Estos comportamientos suelen revelar fallos de manejo: mala ventilación, errores nutricionales, equipos mal mantenidos o competencia excesiva por recursos.

Para evitar estos problemas, es indispensable capacitar al personal y reforzar la observación diaria de las aves y de su entorno. Se recomienda inspecciones diarias que no se centren solo en la recolección de huevos, sino en observar a las gallinas para detectar signos tempranos de estrés o enfermedad. La instalación de perchas adecuadas desde la crianza facilita que las gallinas desarrollen huesos fuertes y puedan escapar de las

agresiones, reduciendo fracturas y mejorando su bienestar. Por último, los sistemas al aire libre exponen a las aves a parásitos, depredadores y cambios climáticos, por lo que requieren un riguroso control sanitario, drenaje para evitar acumulaciones de agua y mallas protectoras para impedir la entrada de fauna silvestre. Todo ello demuestra que la gestión de gallinas ponedoras en sistemas sin jaulas es más compleja y demanda mayores conocimientos técnicos y recursos para garantizar tanto la productividad como el bienestar animal.

- **Influenza aviar:** La influenza aviar es una enfermedad viral altamente contagiosa causada por virus de la familia Orthomyxoviridae. El Ministerio de Agricultura de España (2025), explica que existen dos grandes formas: la influenza aviar de baja patogenicidad, que suele causar cuadros leves o incluso asintomáticos, y la influenza aviar de alta patogenicidad (IAAP), que provoca signos clínicos graves y puede alcanzar altas tasas de mortalidad en las parvadas. Por tratarse de una enfermedad de declaración obligatoria en la Unión Europea, cualquier foco detectado obliga al sacrificio inmediato de todas las aves del lote para evitar la propagación. Los virus de la gripe aviar circulan entre aves silvestres, en especial anátidas y otras aves migratorias, que actúan como reservorios y pueden transmitir el virus a las gallinas de corral a través de sus excrementos, secreciones nasales o aguas contaminadas.

En los sistemas de producción sin jaula, especialmente en los sistemas con acceso al exterior, el riesgo de exposición al virus se incrementa. Un análisis de Estevinho (2021), sobre bienestar en sistemas “cage free” recuerda que las gallinas camperas están expuestas a depredadores y pueden infectarse con enfermedades importantes, como la influenza aviar y la enfermedad de Newcastle, a través del contacto con aves silvestres. Scott et al. (2018), realizaron una evaluación de riesgo en granjas comerciales de Australia donde se demostró

que las granjas de ponedoras en libertad presentan la mayor probabilidad de exposición a influenza aviar de baja patogenicidad ($7,5 \times 10^{-4}$), en comparación con explotaciones de gallinas en jaulas o en naves cerradas. El estudio subraya que la presencia de aves acuáticas y la utilización de cuerpos de agua en el exterior son factores determinantes, y concluye que las medidas de bioseguridad y la vigilancia continua de las poblaciones de aves silvestres son esenciales para minimizar la entrada del virus en las granjas.

Las epidemias recientes han obligado a replantear el manejo en granjas “cage free”. Durante los brotes de influenza aviar registrados en Estados Unidos, las autoridades sanitarias recomendaron encerrar a las aves en el interior de los galpones para evitar el contacto con aves migratorias; incluso las granjas ecológicas, que por normativa deben permitir acceso al exterior, se vieron obligadas a mantener a sus animales confinados temporalmente. Reportes periodísticos recogen que muchos productores “cage free” y de sistema camperos decidieron encerrar a sus parvadas para protegerlas, porque la gripe aviar se transmite a través de aves migratorias y los animales con acceso al aire libre son especialmente vulnerables. Esta medida, aunque necesaria para la sanidad del rebaño, genera tensiones con el concepto de “libertad” y puede afectar el bienestar si las aves permanecen confinadas durante períodos prolongados; los productores deben compensar con ventilación, enriquecimientos y una distribución adecuada del espacio. Además, cada foco detectado implica el sacrificio de todas las aves del lote, con pérdidas económicas considerables y un impacto en el suministro de huevos, como se observó en brotes recientes en California y otros estados, donde se sacrificaron millones de gallinas ponedoras y los precios de los huevos se dispararon (Poletto, 2022).

- Escasez de tierra: La disponibilidad de tierra es uno de los mayores obstáculos para la producción de huevos sin jaulas. En los sistemas convencionales, las

gallinas viven en baterías; por tanto, se optimiza al máximo el uso de espacio. Sin embargo, en los sistemas “cage free” o de gallinas camperas las aves necesitan moverse y explorar, lo que implica destinar superficies mayores al alojamiento. Esta limitación de espacio se acentúa en regiones donde el precio del suelo agrícola es elevado o escaso, lo que incrementa significativamente los costos de producción.

Diversos estudios han confirmado que la transición a sistemas sin jaulas incrementa la demanda de tierra tanto para alojamiento como para la producción de alimento. Una evaluación de costes en países asiáticos reveló que los sistemas con jaulas optimizan la producción y el uso de la tierra, mientras que las granjas sin jaulas enfrentan un 23 % más de costos; los productores destacaron la disponibilidad de tierra como uno de los principales obstáculos para adoptar estos sistemas, incluso en países con abundante territorio (Unerman, 2025). La cría en libertad requiere más agua, alimento y tierra que la producción en jaulas; los productores señalan que, cuando se consideran los terrenos necesarios y otros recursos, el capital requerido para invertir en sistemas sin jaulas se vuelve enorme.

El mayor espacio no sólo se destina al alojamiento, sino también a cultivar el pienso adicional que las gallinas camperas consumen. Al moverse más, estas aves gastan más energía y comen más, de modo que se necesita más grano y, en consecuencia, más tierra para cultivarlo. Las certificaciones internacionales muestran la magnitud de la demanda: el sello Certified Humane (2014) exige para la categoría “free range” 1,8 m² de espacio al aire libre por gallina, mientras que en el sistema “pasture raised” se requieren 108 ft² (aprox. 10 m²) por ave. Esta escala dificulta la adopción en explotaciones pequeñas y en zonas periurbanas. Por tanto, la escasez de tierra es un reto estructural que obliga a planificar cuidadosamente la ubicación de las granjas “cage free”, a incrementar el valor del huevo

para recuperar la inversión y a considerar sistemas intermedios que equilibren bienestar animal y viabilidad económica.

Con el fin de ilustrar las implicaciones productivas y de recursos asociadas a los sistemas de producción de huevos sin jaulas, la Tabla 1 presenta algunos datos numéricos reportados en la literatura sobre el uso de tierra, espacio y otros recursos en sistemas “cage free”. Estos valores permiten dimensionar las diferencias estructurales frente a los sistemas convencionales con jaulas, particularmente en términos de requerimientos de superficie por ave y demanda de recursos productivos. La información presentada contribuye a comprender uno de los principales retos de estos sistemas: la necesidad de mayores áreas de producción y la consecuente presión sobre los costos operativos y la planificación del uso del suelo.

Tabla 1

Datos Numéricos Relacionados con el Uso de Tierra y Recursos

Concepto	Valor numérico	Descripción
Incremento de costos en sistemas sin jaulas	23%	Aumento estimado de costos relacionados con tierra y operación frente a sistemas en jaula.
Espacio exigido por Certified Humane – Free Range	1,8 m ² por gallina	Superficie mínima al aire libre requerida por aves en sistemas “free range”.
Espacio exigido por Certified Humane – Pasture Raised	108 ft ² por gallina	Equivalente aproximado a 10 m ² por ave en sistemas “pasture raised”.

Nota. Compara los requerimientos de superficie y costos entre sistemas convencionales y "cage free"

- Mano de obra adicional asociada, por ejemplo, con el manejo de la cama y la recolección de huevos: Uno de los principales retos económicos de los sistemas sin jaulas es la mayor cantidad de mano de obra necesaria para tareas rutinarias como la gestión de la cama y la recogida de huevos. A diferencia de las jaulas en batería, donde los huevos ruedan sobre bandas transportadoras y el estiércol cae lejos de las aves, las pajareras y los sistemas en suelo generan una cama de viruta o paja que debe mantenerse seca y esponjosa para evitar problemas sanitarios. Los productores deben esparcir y renovar con frecuencia este lecho para evitar acumulaciones de estiércol y humedad, además de controlar la ventilación para que el amoníaco no dañe a las aves. El boletín de Global Food Partners (2022), explica que una tercera parte del área utilizable debe cubrirse con cama de al menos 10 cm de profundidad y que el personal debe inspeccionar varias veces al día el estado de la cama y la salud de las aves. Estas prácticas requieren más tiempo y personal cualificado que en los sistemas convencionales, donde la cama no está presente.

La recolección de huevos también se vuelve más compleja en los sistemas sin jaulas porque muchas gallinas depositan los huevos fuera de los nidos. Aunque se instalen nidales, las gallinas suelen poner huevos en el suelo (conocidos como “floor eggs”), lo que obliga a los trabajadores a recogerlos manualmente; este proceso incrementa los costes laborales y conlleva una mayor tasa de rotura y contaminación de los huevos. Chai, Dunkley y Ritz (2025) señalan que los huevos mal puestos pueden representar hasta un 10 % de la producción en granjas “cage free”, y que “cualquier huevo mal depositado incrementa los costes laborales porque debe recogerse manualmente cada día”. Además de incrementar el tiempo de trabajo, la presencia de huevos en el suelo aumenta el riesgo de contaminación por bacterias como Salmonella cuando entran en contacto con la cama y el estiércol.

Estos sistemas también requieren más personal para atender a las aves y mantener el equipo. Un estudio que comparó los costes de tres tipos de instalaciones (jaulas convencionales, aviarios y colonias enriquecidas) mostró que, en los aviarios, los trabajadores deben recoger los huevos del suelo, retirar gallinas enfermas o muertas y atender a un área más dispersa, lo que consume tiempo y hace que la mano de obra sea más costosa; en contraste, la recolección automática en jaulas minimiza este trabajo.

La escasez de trabajadores cualificados agrava el problema. Los sistemas en suelo pueden requerir dos o tres veces más trabajadores que las jaulas combinadas, y los sistemas combinados pueden necesitar hasta cinco veces más, especialmente si el diseño de la nave es deficiente. Los productores están adoptando aviarios multinivel equipados con cintas transportadoras de estiércol y sistemas automáticos de alimentación para reducir las tareas manuales de limpieza y organización de las aves. Sin embargo, incluso con estas tecnologías, los sistemas sin jaulas requieren más personal para controlar a las aves, mantener el equipo, vigilar el estado de la cama y recoger los huevos fuera de los nidos. En consecuencia, la mano de obra adicional se traduce en mayores costos de producción y representa un desafío estructural para el crecimiento de la producción de huevos “cage free”.

- Permisos de producción al aire libre (para regular la contaminación). La cría de gallinas ponedoras en libertad conlleva obligaciones ambientales que muchos productores encuentran difíciles de cumplir. En los países donde la normativa es estricta, las granjas que superan un determinado número de aves deben tramitar un permiso ambiental antes de operar. En Inglaterra, por ejemplo, el gobierno clasifica como “intensivas” a las explotaciones avícolas con 40 000 o más aves; estas granjas, incluidas las de libre acceso al exterior, necesitan un permiso ambiental de explotación porcina y avícola

intensiva expedido por la Environment Agency (2010). El proceso de solicitud exige preparar un sistema de gestión, evaluar los riesgos ambientales y demostrar cómo se controlarán las emisiones y los vertidos. Las grandes explotaciones son inspeccionadas para comprobar la disposición de las naves, el almacenamiento de estiércol y los sistemas de drenaje, y para revisar los registros de eliminación de residuos. Estas exigencias suponen trámites complejos y un coste económico que muchos pequeños productores consideran inasumible.

Las normas, además, no alcanzan a todas las granjas. En el Reino Unido sólo los establecimientos con más de 40 000 aves necesitan permiso; las granjas con poblaciones menores, algunas con 12 000 a 39 000 gallinas, quedan fuera del control de la Environment Agency y son supervisadas por autoridades locales que no siempre tienen capacidad técnica para abordar los problemas de contaminación. Esta laguna regulatoria preocupa a ambientalistas y pescadores porque el estiércol rico en fósforo puede ser arrastrado por la lluvia y llegar a los ríos, causando eutrofización, mortandad de peces y un aumento del coste de tratamiento del agua potable.

En Estados Unidos, la Ley de Agua Limpia también exige permisos de descarga (NPDES) a las concentrated animal feeding operations (CAFO). Las explotaciones con más de 125 000 pollos de engorde o 82 000 gallinas son consideradas CAFO y deben solicitar un permiso NPDES, implementar un plan de gestión de nutrientes y registrar los lugares donde almacenan y aplican el estiércol (Hishaw, 2006). Aunque los límites son elevados y la mayoría de las granjas camperas no los supera, para las empresas que sí lo hacen la tramitación y el cumplimiento de estos permisos implican costos adicionales y un seguimiento técnico continuo. En resumen, la necesidad de permisos de producción al aire libre para proteger el medio ambiente se traduce en un proceso administrativo y financiero

complejo que representa otro obstáculo para los productores que desean adoptar sistemas de gallinas ponedoras sin jaula.

- Percepciones/disposición de los productores y resistencia generacional. La transición a sistemas de gallinas ponedoras sin jaulas no solo plantea retos técnicos y sanitarios, sino también desafíos relacionados con la percepción de los propios productores. Muchas granjas siguen utilizando jaulas porque son fáciles de gestionar y eficientes. Un estudio realizado en seis países asiáticos por Lane et al. (2022) en China, Japón, Indonesia, Malasia, Filipinas y Tailandia, concluyó que los productores de huevos valoran las jaulas por su eficiencia; aunque el 65 % consideró que los sistemas sin jaulas podrían ser viables en su país, su adopción estaba motivada sobre todo por mejorar el bienestar animal, acceder a mercados con requisitos de bienestar y ofrecer un producto de mayor calidad. Las principales razones para no cambiar eran la caída de la rentabilidad, los costos más altos y los riesgos sanitarios asociados a la falta de jaulas. El 72 % de los encuestados afirmó que necesitaría mayor apoyo técnico y formación antes de adoptar estos sistemas.

El escepticismo de los productores se manifiesta también en las encuestas realizadas en Estados Unidos. Un estudio de métodos mixtos que entrevistó a productores convencionales y “cage free”, halló que muchos ven la transición más como un riesgo que como una oportunidad: uno de ellos señaló que supone más un riesgo que una oportunidad por el capital necesario y los desconocidos. Entre los principales obstáculos figuran la débil demanda de los consumidores por huevos sin jaula cuando los huevos convencionales siguen disponibles, la necesidad de invertir millones en instalaciones nuevas y la preocupación por el impacto medioambiental y la seguridad alimentaria. Los productores explicaron que el capital inicial para instalaciones sin jaulas es al menos el doble que el de las jaulas convencionales y que la construcción de las nuevas naves puede tardar dos o tres

años. Estas inversiones solo se justifican si los distribuidores garantizan contratos a largo plazo; de lo contrario, muchos optan por permanecer en sistemas convencionales. Un análisis del Iowa Farm Bureau (2023) añade que los sistemas sin jaulas requieren al menos el doble de capital y entre dos y tres veces más mano de obra; además consumen más pienso y presentan mayor riesgo de enfermedades y problemas de inocuidad alimentaria. En este contexto, muchos productores se muestran reacios a adoptar los sistemas sin jaulas, especialmente cuando los márgenes son estrechos y los consumidores no están dispuestos a pagar los precios más altos de estos huevos.

La resistencia también tiene una dimensión generacional y cultural. En granjas familiares con larga trayectoria, la inversión en equipamientos y la presión de las normativas pueden percibirse como una amenaza para la continuidad del negocio. El caso de Weber Family Farms en California (2024), ilustra esta preocupación: los hermanos Weber tuvieron que invertir millones de dólares en equipos para cumplir los requisitos de crianza sin jaulas, lo que ha reducido el número de productores en el estado. Además, una iniciativa local promovida por activistas intentaba limitar el tamaño de las granjas avícolas, lo que, según los agricultores, “acabaría con muchas explotaciones familiares generacionales”. Estos productores defienden su modo de vida y temen que las exigencias de bienestar y las campañas de activismo provoquen la desaparición de granjas que han pasado de padres a hijos durante décadas. Así, la transición hacia sistemas sin jaulas requiere no solo inversión y asesoramiento técnico, sino también políticas de acompañamiento y programas de apoyo que tengan en cuenta las inquietudes económicas y culturales de los productores de distintas generaciones.

- Gallinas que no utilizan el espacio exterior que se les proporciona o que no utilizan otros recursos proporcionados. Un reto significativo en los sistemas de pastoreo es

el fenómeno de la infrautilización del espacio exterior. A pesar de tener acceso a corrales o praderas, es común observar que grandes porcentajes de la parvada permanecen dentro del galpón o se concentran inmediatamente alrededor de las salidas.

Las gallinas son animales de presa y, por naturaleza, prefieren la seguridad y la cobertura. La falta de sombra, refugios naturales o artificiales (como arbustos o toldos) en el área exterior disuade a las aves de aventurarse, dejándolas expuestas a depredadores aéreos. Además, las condiciones climáticas adversas (lluvia intensa, viento o temperaturas extremas) y la calidad del pasto o suelo exterior también limitan drásticamente su tiempo al aire libre. Esta baja utilización del pastoreo reduce el beneficio percibido del sistema, ya que las aves siguen confinando su actividad a los espacios interiores.

Dentro de los galpones *cage-free* (sistemas de suelo o aviarios), la provisión de recursos clave, como nidales, perchas o bebederos, también enfrenta desafíos de manejo que comprometen la salud y la productividad. La falta de planificación en la distribución de los recursos puede llevar a una congestión excesiva en ciertas áreas, mientras otras permanecen vacías. Por ejemplo, si los nidales están mal ubicados o son insuficientes, las gallinas tenderán a aglomerarse, aumentando el riesgo de agresividad, *picaje* y la incidencia de huevos de suelo (fuera de los nidales). Los huevos de suelo requieren más mano de obra para su recolección, tienen un mayor riesgo de rotura y contaminan la higiene del lote total.

Aunque las perchas son esenciales para que las gallinas descansen y expresen su comportamiento de *posamiento*, su altura y diseño deben ser óptimos. Si las perchas son de difícil acceso o insuficientes, las aves pueden terminar durmiendo en el suelo. Este comportamiento aumenta el riesgo de problemas en las patas y eleva la probabilidad de propagación de patógenos en la cama, afectando la calidad de vida y la bioseguridad del sistema.

Áreas Desafiantes sobre “Cage Free” que Pueden ser Beneficiadas con TI

La migración a sistemas de pastoreo o “cage-free” introduce complejidad y desafíos únicos. Las Tecnologías de la Información (TI) y las soluciones de la Agricultura de Precisión, son herramientas clave para mitigar estos riesgos y mejorar la gestión operativa sin sacrificar el bienestar animal.

Con el propósito de identificar el papel de las tecnologías de la información en la modernización de los sistemas de producción avícola sin jaulas, la Tabla 2 presenta una síntesis de algunas aplicaciones tecnológicas utilizadas en sistemas “cage-free”. Estas herramientas incluyen soluciones de monitoreo, análisis de datos y automatización orientadas a mejorar la gestión productiva, el control del bienestar animal y la eficiencia operativa. La incorporación de estas tecnologías permite recopilar y procesar información en tiempo real, facilitando la toma de decisiones y contribuyendo a reducir la dependencia de la supervisión manual en los sistemas de producción.

Tabla 2*Ti Aplicada a Cage Free*

Desafío en Cría sin Jaula	Tecnología de la Información Aplicada	Beneficio y Gestión Específica
Recolección de Huevos	Sistemas de Visión Artificial e IoT	<p>Cámaras equipadas con IA monitorean los nidales y las áreas de suelo, identificando la concentración de huevos fuera de los nidales (huevos de suelo). El IoT (sensores) puede optimizar la operación de cintas transportadoras automáticas. Esto reduce la mano de obra y la rotura de huevos, y permite el entrenamiento correctivo de las gallinas.</p>
Picaje de Plumas y Canibalismo	Análisis de Video y Modelos Predictivos de IA	<p>Cámaras 3D y sistemas de análisis de comportamiento rastrean el movimiento y las interacciones de las aves. La IA detecta patrones anómalos (aumento de la agresión o picaje) antes de que escalen a un brote de canibalismo. El sistema envía alertas tempranas para que el personal pueda intervenir con enriquecimiento ambiental o ajustes de manejo.</p>

Desafío en Cría sin Jaula	Tecnología de la Información Aplicada	Beneficio y Gestión Específica
Gestión de Densidad de Aves y Uso de Espacio	Sensores de Geolocalización (RFID/UWB) y Cámaras Térmicas	<p>Sensores UWB (Ultra Wideband) o RFID en grupos de aves permiten mapear su ubicación en tiempo real, tanto dentro como fuera del galpón. Esto permite al gestor ver digitalmente si el espacio exterior se está infrutilizando o si hay aglomeraciones peligrosas en el interior, facilitando la optimización del diseño del galpón y el uso de refugios.</p>
Influenza Aviar (Bioseguridad)	Monitoreo Ambiental IoT y Sistemas de Trazabilidad	<p>Sensores IoT rastrean la temperatura, humedad y niveles de amoníaco dentro del galpón (factores de estrés). Software de trazabilidad basado en <i>Blockchain</i> o bases de datos avanzadas registra la entrada y salida de personas, vehículos y alimentos, creando un registro de bioseguridad inmutable. Esto es crucial para la contención y la respuesta rápida en caso de brote.</p>
Mano de Obra Adicional	Automatización de Tareas Repetitivas y Software de Gestión Integrado	<p>Software ERP (Enterprise Resource Planning) o de gestión de granjas consolida datos de alimentación, salud y producción. La automatización se aplica a la dosificación de alimento, limpieza y control ambiental. Las alertas predictivas de la IA minimizan el tiempo perdido en rondas de inspección manuales, permitiendo al personal centrarse en tareas de bienestar especializadas.</p>

Nota. Detalle de las formas como las TI pueden ayudar en la mitigación de gestiones “cage free”

La implementación de estas TI transforma el galpón *cage-free* en una Granja Inteligente. Al convertir datos complejos en información procesable, los productores pueden tomar decisiones precisas que mejoran el bienestar de las aves, optimizan la mano de obra y, en última instancia, garantizan una producción rentable y sostenible en un entorno de mayor libertad para los animales.

La tecnología en el área avícola a nivel industrial esta muy desarrollada. Lo último aplicado al área son tecnologías de AI y Big Data para identificar comportamiento de la gallinas respecto al lugar donde ponen sus huevos, patrones de movimiento, identificación de gallinas problemáticas y enfermas y para mejorar la gestión de la granja. El empleo de tecnología en la área es necesario para aumentar la producción y minimizar los costes y el uso de recursos (Jake Astill, 2020). El modelo tecnológico mas utilizado es el PLF. Según Li N., et al (2020) La ganadería de precisión (PLF) se define como la aplicación de principios y técnicas de ingeniería de procesos a la ganadería para monitorear, modelar y gestionar automáticamente la producción animal. El objetivo de PLF es monitorear en tiempo real la salud y el bienestar de los animales de forma automática y continua y generar mensajes de advertencia rápidamente. A través de la ubicación del agrupamiento de pollos, se puede examinar la calidad de las instalaciones del gallinero (comederos, bebederos, nidos). Detectar la actividad de las aves de corral, como comer, beber, moverse y posarse, puede estimar si están sanas y, por lo tanto, proporcionar una alerta temprana de enfermedades. El sistema PLF se basa en sensores como dispositivos RFID, acelerómetro, cámara, micrófono y sensor de temperatura, y recopila una variedad de información como actividad, temperatura corporal, consumo de alimento y peso que se utiliza para el monitoreo ambiental, el reconocimiento individual y el comportamiento.

Otro descubrimiento útil para identificar retos en el cuidado de gallinas de pastoreo, es identificar los comportamientos de las gallinas para diagnosticar su estado interno. Comportamientos como picotear, rascarse y bañarse en polvo indican que ellas están contentas y relajadas. Si una gallina está estresada o ansiosa, puede provocar comportamientos como arrancarse las plumas y caminar de un lado a otro (Subedi, 2023). Identificar y diagnosticar estos comportamientos, resultaría en una mejora en la calidad respectiva de los huevos producidos. Yang et al. (2023), utilizaron dos enfoques principales para diagnosticar el comportamiento de las aves: monitoreo de contacto con sensores corporales y monitoreo sin contacto. Con este enfoque determinaron una mayor productividad y una reducción de costos al minimizar los brotes de enfermedades.

El comportamiento de puesta de huevos en el piso (FELB) es uno de los problemas más preocupantes en los galpones comerciales sin jaulas (CF) porque los huevos en el piso (es decir, los huevos extraviados en el piso) generan altos costos de mano de obra, preocupaciones sobre la seguridad alimentaria y baja rentabilidad porque ya no se consideran huevos para consumo y para la venta. Además, los huevos del suelo tienen una mayor probabilidad de ser rotos y comidos por las mismas gallinas. En casos extremos, los huevos extraviados pueden alcanzar entre el 5 % y el 10 % de la producción diaria total de huevos (Bist et al., 2023).

Tecnologías Emergentes para la Producción de Huevos en Ambientes de Pastoreo

Los sistemas de captura de datos para la eficiencia en la producción avícola están en el corazón de los sistemas de gestión inteligente, conocidos como Ganadería de Precisión (PLF). La implementación de estas tecnologías es fundamental para enfrentar el desafío de la creciente demanda global de productos avícolas. Ochoa Moreno (2015) dice: “se proyecta que para el año 2050, la demanda de carne de ave será más del doble de lo que fue en 2005, y la demanda de huevos de gallina aumentará casi un 40%”. Para satisfacer este incremento, el PLF es un mecanismo clave que busca aumentar la producción mientras se minimizan los costos y el uso de recursos.

La PLF se describe como un sistema que optimiza el cuidado de los animales al monitorearlos en tiempo real, resultando idealmente en el monitoreo individual o de la unidad más pequeña que pueda ser gestionada. Estos sistemas de gestión constan de tres funciones distintas: detección y monitoreo, análisis y toma de decisiones e intervención. El impacto potencial de estas nuevas tecnologías se centra en la optimización del ambiente del gallinero, la mejora del bienestar de las aves, la alimentación de precisión y la detección rápida de enfermedades infecciosas.

Los sistemas de PLF facilitan la automatización de procesos al disminuir la necesidad de observaciones manuales y la toma de decisiones humanas, reduciendo significativamente el tiempo y el esfuerzo requeridos para gestionar grandes cantidades de ganado. Los sistemas de manejo avícola inteligente incorporan tecnologías PLF como sensores inteligentes, la automatización de los procesos de la granja y plataformas de toma de decisiones basadas en datos. A medida que los sensores inteligentes recolectan datos en tiempo real sobre una variedad de parámetros de las operaciones avícolas, se generan grandes volúmenes de datos (*Big Data*). Para maximizar el uso de esta información, es

imperativo que se empleen herramientas analíticas de *Big Data* para almacenar y procesar electrónicamente estos datos, haciéndose accesibles para que las decisiones puedan tomarse de manera rápida o en tiempo real. Además, los dispositivos integrados en los sistemas de gestión avícola inteligente se conectarán a Internet, formando redes de Internet de las Cosas (IoT). Las tecnologías IoT permiten la comunicación entre los sensores, dispositivos y equipos de la granja, lo que lleva a la automatización de múltiples procedimientos

El Marco de la Ganadería de Precisión (PLF)

La Ganadería de Precisión (PLF, por sus siglas en inglés) representa una evolución necesaria en la gestión de la producción animal, especialmente ante los retos demográficos y de sostenibilidad. La (PLF) es el sistema central para la captura de datos y la gestión eficiente. Su objetivo fundamental de la PLF es optimizar la producción animal y la calidad del producto, logrando al mismo tiempo minimizar el uso de recursos naturales limitados. Además de la eficiencia productiva, la PLF también se enfoca en mejorar el bienestar y la salud animal (Berckmans, 2017). En el contexto de la transición hacia sistemas alternativos (como la cría en pastoreo), la tecnología PLF se vuelve una herramienta clave para superar los desafíos propios de estos sistemas, como la mano de obra y el manejo de enfermedades. La aplicación de la PLF es reconocida incluso como una estrategia para mitigar el impacto ambiental de la ganadería. La PLF surge como una respuesta directa a la creciente demanda global de productos avícolas. Se proyecta que esta demanda aumentará significativamente para 2050, requiriendo un crecimiento del 50% en productos de origen animal para satisfacer las necesidades mundiales.

La capacidad de los sistemas PLF para monitorear a los animales en tiempo real se basa en la incorporación de tecnologías de detección de contacto (con sensores corporales) y detección sin contacto (sistemas de visión). Estos sistemas utilizan componentes como

dispositivos RFID (identificación por radiofrecuencia), acelerómetros, cámaras, micrófonos y sensores de temperatura. Los datos recopilados (actividad, temperatura corporal, consumo de alimento y peso) son cruciales para el monitoreo ambiental, el reconocimiento individual y la evaluación del comportamiento. Para el sector avícola, la observación del comportamiento de los animales es un componente principal de la ganadería de precisión, ya que permite evaluar el bienestar y la salud de la parvada. El uso de métodos no invasivos de monitoreo mejora la bioseguridad de la granja

La aplicación estratégica de estas tecnologías ha demostrado potencial en áreas críticas. Por ejemplo, la detección automática de comportamientos y, específicamente, la identificación de la puesta de huevos en el suelo, un problema significativo en los galpones sin jaula que genera altos costos de mano de obra y preocupaciones de seguridad alimentaria. Bist et al. (2023) y Subedi et al. (2023) explican modelos de aprendizaje profundo, como YOLOv5, que han sido desarrollados y probados para monitorear automáticamente estos huevos extraviados, ofreciendo una referencia valiosa a los productores. La tecnología PLF también permite el monitoreo y control de la temperatura, la humedad y el suministro de agua, reduciendo los costos laborales y ahorrando tiempo. Al integrar los datos del monitoreo conductual con información ambiental (clima, consumo de alimentos y agua), los sistemas pueden generar mensajes de advertencia rápidamente, permitiendo a los agricultores tomar medidas en una etapa temprana. Sin embargo, existen desafíos, como la dificultad de interpretar y aplicar los grandes volúmenes de datos generados. Además, la tecnología PLF debe ser vista como un complemento que asiste en tareas que exigen tiempo y esfuerzo (como la recolección de huevos del suelo y el registro de datos), y no debe reemplazar la inspección humana y el juicio del cuidador.

- **Componentes:** Los sistemas PLF facilitan la automatización de procesos al disminuir la necesidad de observaciones manuales y la toma de decisiones humanas, reduciendo el tiempo y el esfuerzo requerido para manejar grandes cantidades de ganado. Los sistemas constan de tres funciones: detección y monitoreo (*sensing and Monitoring*), análisis y toma de decisiones e intervención. (Wolfert et al., 2017)
- **Integración Tecnológica:** Los sistemas inteligentes de manejo avícola incorporan tecnologías PLF como sensores inteligentes, automatización de procesos de la granja y plataformas de toma de decisiones basadas en datos.
- **Big Data e IoT:** La recolección de datos en tiempo real genera grandes volúmenes de datos (*Big Data*), que deben ser almacenados y analizados rápidamente para la toma de decisiones. El Internet de las Cosas (IoT) conecta sensores, dispositivos y equipos, lo que permite la automatización de múltiples procedimientos en la granja. La Tabla 3 presenta algunos indicadores asociados a los beneficios de la implementación de sistemas basados en Ganadería de Precisión (PLF) en la producción pecuaria. Estos indicadores evidencian mejoras en aspectos como la eficiencia productiva, el monitoreo continuo del bienestar animal y la optimización del uso de recursos dentro del sistema productivo. La integración de tecnologías digitales permite obtener información en tiempo real sobre el estado del lote y las condiciones del entorno, lo que facilita la toma de decisiones y la detección temprana de posibles problemas.

Tabla 3*Indicadores de Beneficios del Sistema PLF*

Categoría de Dato	Indicador Numérico	Contexto y Significado
Desafío Operacional (Huevos en el Piso/Mano de Obra)	5% a 10% de la producción diaria total	Representa el porcentaje de huevos puestos en el piso (floor egg), un comportamiento problemático en galpones sin jaulas que impone altos costos de mano de obra y genera preocupaciones por la seguridad alimentaria.
	0.1% a 2% de la producción diaria	Rango inferior al que se puede reducir la tasa de huevos fuera de nido con buenas prácticas de manejo y entrenamiento.
Proyecciones de Demanda Global (Justificación de PLF)	Aumento de la demanda de huevos de gallina en casi un 40%	Proyección de crecimiento de la demanda global para el año 2050.

Categoría de Dato	Indicador Numérico	Contexto y Significado
	Crecimiento del 50% en productos de origen animal	Crecimiento requerido para 2050 para satisfacer la creciente demanda.
Eficiencia en la Detección de PLF (Visión Artificial)	Precisión superior al 85%	Precisión de los modelos de deep learning (como YOLOv5 y YOLOv7) desarrollados y probados para el monitoreo automático de huevos extraviados en el piso.
Optimización de Costos (Contexto Agroecológico)	Reducción del consumo de concentrado balanceado entre un 20% y 30%	Meta del sistema de producción en pastoreo al sustituir esta diferencia con pastoreo y suplementando plantas forrajeras.
	Costo de alimento: hasta el 80% del costo total	El alimento es un factor determinante, de ahí la importancia de rebajar costos para la rentabilidad

Nota. Presenta datos sobre el impacto de la Ganadería de Precisión, incluyendo la reducción de huevos en el piso y proyecciones de demanda global de alimentos para 2050.

Métodos de Captura de Datos y Sensores Específicos

La Ganadería de Precisión (PLF) emplea una diversidad de métodos y sensores especializados para llevar a cabo el monitoreo en tiempo real de los animales y del entorno de la granja. Estos métodos se agrupan en dos enfoques principales: el monitoreo sin contacto y el monitoreo de contacto.

- **Monitoreo Sin Contacto:** El monitoreo sin contacto utiliza sensores y cámaras para observar a las aves a distancia, sin perturbarlas. Este método permite recolectar datos de comportamiento a lo largo del tiempo y mejora la bioseguridad de la granja debido a su naturaleza no invasiva. Las claves tecnológicas incluyen:
 - **Sistemas de Visión por Computadora (Computer Vision):** La estrategia de visión por computadora ha tenido una amplia utilización para el monitoreo de animales. En el contexto tradicional, las técnicas visuales se usaban para identificar comportamientos avícolas mediante la extracción de caracteres predefinidos y la aplicación de aprendizaje supervisado, no supervisado, semi-supervisado y reforzado. En años recientes, el aprendizaje profundo y las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) han surgido como herramientas poderosas para resolver problemas complejos en la visión por computadora. (Gikunda & Jouandeau, 2019)
 - **Aplicaciones de Aprendizaje Profundo:** Modelos como You Only Look Once (YOLO) son populares debido a su precisión y velocidad. Estos modelos se han empleado para la detección y seguimiento de comportamientos específicos de gallinas sin jaula. Por ejemplo, se han desarrollado modelos YOLOv5 y YOLOv7 para la detección automática de huevos extraviados en el piso en corrales sin jaulas, con una precisión

superior al 85% (Subedi et al. 2023). Esta detección es útil para proporcionar una referencia a los productores de que los huevos en el suelo pueden monitorearse automáticamente.

– **Monitoreo del Comportamiento:** El monitoreo visual automatizado es fundamental para evaluar el bienestar animal, ya que los comportamientos como picotear, rascarse y bañarse en polvo indican que las gallinas están contentas y relajadas. Por el contrario, el estrés o la ansiedad pueden manifestarse como arrancarse las plumas, caminar de un lado a otro y vocalizar. El monitoreo de comportamientos aplicados, incluyendo alimentación, bebida, caminar, perchar, bañarse en polvo y anidar, se ha desarrollado específicamente para gallinas sin jaula.

– **Cámaras Específicas:** El interés se centra en el uso de cámaras, incluidas las cámaras termográficas para el monitoreo continuo de la salud y el bienestar. El uso de cámaras de visión nocturna y de vista superior/lateral se ha implementado en entornos de investigación para capturar datos de comportamiento de las aves las 24 horas del día.

– **Análisis de Sonido:** Los micrófonos son sugeridos como herramientas valiosas para el monitoreo continuo. El análisis objetivo del sonido puede servir como indicador de bienestar, enfermedades virales, confort térmico y la posible presencia de ácaros rojos de las aves (Poultry Red Mite, PRM), ya que se ha reportado que los niveles de ruido aumentan en granjas infestadas.

– **Sensores Ambientales:** Los sistemas de Ganadería de Precisión (PLF) y las tecnologías asociadas incluyen el monitoreo y control de la temperatura, la humedad y el suministro de agua, lo cual minimiza los costos laborales y ahorra tiempo. Sensores adicionales monitorean parámetros climáticos como la humedad relativa y la temperatura, así como concentraciones de contaminantes del aire, específicamente amoníaco y polvo

fino. Sin embargo, la acumulación de partículas de polvo en el ambiente y en las cámaras es un desafío que puede afectar la precisión de la detección y requiere limpieza regular de los sensores.

Monitoreo de Contacto e Identificación

Este enfoque utiliza dispositivos que están en contacto directo con el animal:

- Sensores Portados por el Cuerpo (Body-Carried Sensors): Incluyen *sensores implantados (planted sensors)* y dispositivos RFID.

- Tecnología RFID: La Identificación por Radiofrecuencia (RFID) se utiliza para el reconocimiento individual del animal. Al etiquetar individualmente a las gallinas, esta tecnología se ha utilizado para analizar patrones de movimiento y el uso sincronizado de áreas de pastoreo (*ranging Patterns*) en sistemas de campo libre.

- Nidos Electrónicos Individuales: Los nidos electrónicos utilizan tecnología RFID para el fenotipado de alto rendimiento de gallinas criadas en grupos y en el suelo. Al identificar a cada gallina mediante un transpondedor etiquetado en una pata, el sistema registra la gallina que elige cada nido.

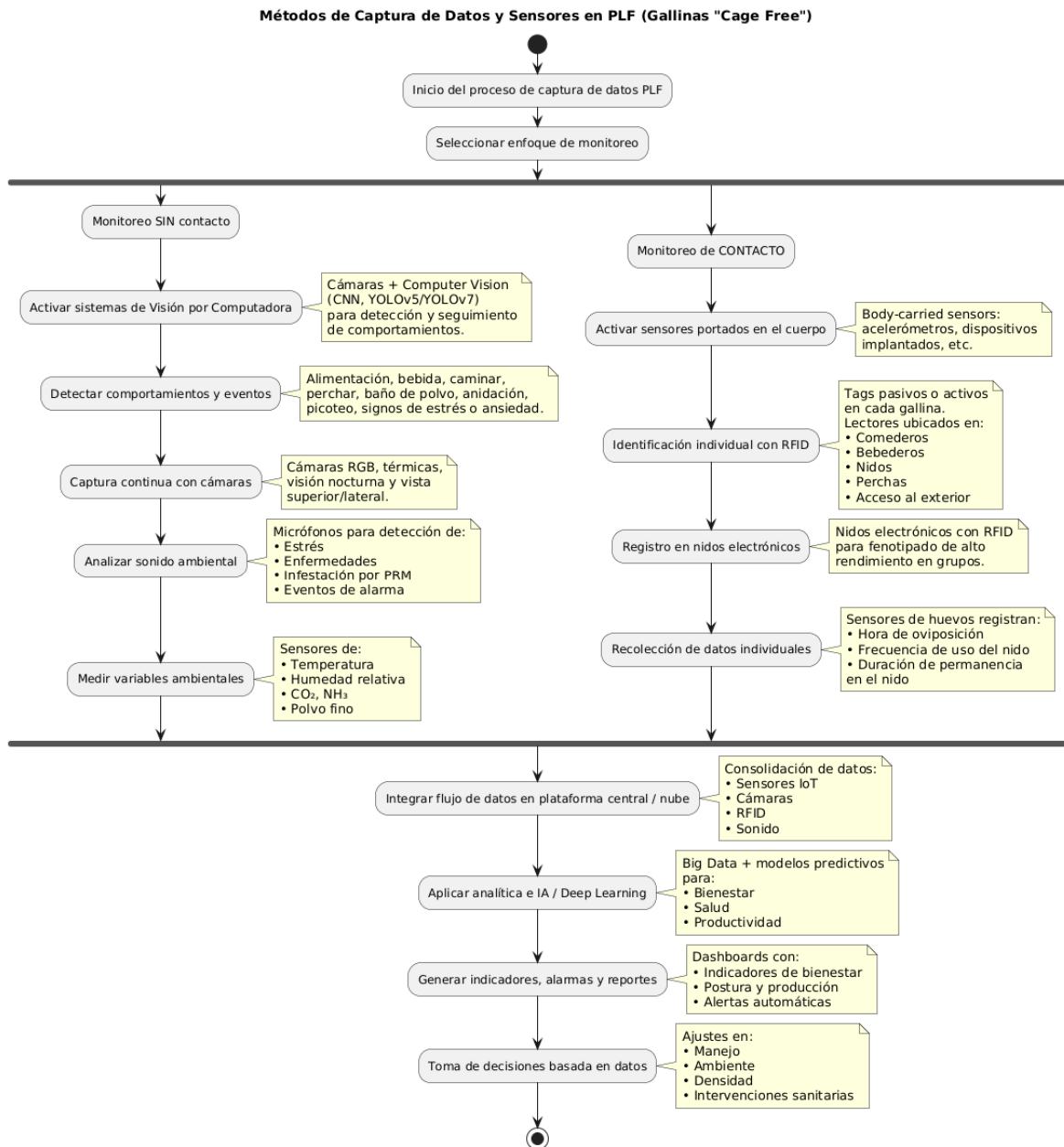
- Recolección de Datos Individuales: Un sensor de huevos ubicado detrás de cada nido registra el tiempo de oviposición y, por lo tanto, la producción de huevos. Esto permite medir la calidad del huevo a escala individual. La tecnología de nidos electrónicos permite obtener rasgos relacionados con la anidación, como la tasa de puesta en nidos, el ritmo de puesta (número de nidadas y tiempo medio de oviposición), la aceptación del nido y la duración de la puesta (tiempo que se pasa en el nido)

El flujo de la Figura 2 resume el proceso integral mediante el cual la Ganadería de Precisión (PLF) captura datos en tiempo real en sistemas avícolas “cage free”, combinando

tecnologías de monitoreo sin contacto —como visión por computadora, cámaras térmicas, análisis de sonido y sensores ambientales— con métodos de monitoreo de contacto basados en RFID y dispositivos portados por las aves. Este proceso permite registrar de manera continua el comportamiento, la salud, la actividad individual y las condiciones ambientales del galpón, integrando toda la información en una plataforma central o en la nube donde se aplican algoritmos de análisis e inteligencia artificial. El objetivo final es generar indicadores confiables, alertas tempranas y reportes automatizados que faciliten una toma de decisiones precisa y oportuna orientada al bienestar animal y la eficiencia productiva.

Figura 2

Métodos de Captura de Datos y Sensores en PLF



Nota. Se Muestra de forma visual las diferencias estructurales entre el alojamiento intensivo en jaulas y los sistemas de pastoreo con libertad de movimiento. Diseño con apoyo de la herramienta de diagramación web plantUML.

Sistemas de Visión Artificial y Aprendizaje Profundo (*Deep Learning*)

Los Sistemas de Visión por Computadora (Computer Vision) han experimentado una amplia utilización para el monitoreo de animales, evolucionando significativamente con el surgimiento del Aprendizaje Profundo (Deep Learning, DL). El Aprendizaje Profundo es un tipo de aprendizaje automático que emplea redes neuronales artificiales para aprender a partir de datos, constituyendo una herramienta poderosa para resolver problemas complejos dentro de la visión por computadora. Mientras que el monitoreo visual tradicional dependía de la extracción de caracteres predefinidos y la aplicación de aprendizaje supervisado o no supervisado, las técnicas modernas de DL, como las Redes Neuronales Convolucionales (CNN), se han convertido en uno de los métodos más populares. Estas redes permiten obtener información detallada sobre el comportamiento, el bienestar y la salud de los animales, incluyendo la detección y el análisis de imágenes para identificar signos de enfermedad, lesión o estrés. Las aplicaciones de esta tecnología en la avicultura son amplias, habiéndose logrado, por ejemplo, sistemas automáticos de clasificación de huevos sucios con una precisión media del 94.84% mediante modelos CNN (Nasiri et al., 2020).

Los modelos de Detección de Objetos en Tiempo Real han sido fundamentales en la Ganadería de Precisión (PLF), destacándose la familia de algoritmos You Only Look Once (YOLO) por su combinación de precisión y velocidad. YOLO, como detector de una sola etapa (Single Stage Detector, SSD), es más eficiente y menos intensivo computacionalmente en comparación con modelos de dos etapas como R-CNNs y Faster R-CNNs (Tulbure et al., 2022). Los modelos más recientes, como YOLOv5 (incluyendo YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l y YOLOv5x), han sido desarrollados para la detección y clasificación de múltiples comportamientos aplicados en gallinas sin jaula. El rendimiento de estos modelos ha demostrado ser superior, con YOLOv5m y YOLOv5x

obteniendo los puntajes F1 más altos (99.6%) en la detección del Comportamiento de Puesta de Huevos en el Piso (FELB), un problema crucial en los sistemas sin jaula.

El desempeño de los modelos YOLO ha sido evaluado rigurosamente para detectar huevos en el piso (FELB, *Floor Egg Laying Behavior*) en sistemas sin jaulas. En la Tabla 4 se describe el rendimiento de modelos YOLO en Detección de Huevos Extraviados (Egg Detection).

Tabla 4

Rendimiento de Modelos YOLO en Detección de Huevos Extraviados

Métrica de Rendimiento	YOLOv5s-egg	YOLOv5x-egg	YOLOv7-egg	Contexto/Resultado Clave
Precisión (%)	87.9% / 99.4% (FELB)	90% / 99.9% (FELB)	89.5%	Todos los modelos tuvieron una precisión de detección superior al 85%.
Recall (%)	86.8% / 99.2% (FELB)	87.9% / 99.2% (FELB)	85.4%	El <i>Recall</i> es la misma para todos los modelos YOLOv5-FELB (99.2%).
Velocidad (FPS)	53.2	29.4	N/A	YOLOv5s tiene la mayor velocidad de procesamiento de datos (FPS).
TP (Tasa de Verdaderos Positivos)	0.94 (Egg) / 0.99 (FELB)	0.89 (Egg) / 0.99 (FELB)	0.87 (Egg)	La TP para FELB es 0.99 para todos los modelos.
TN (Tasa de Verdaderos Negativos)	0 / 0.860 (NFELB)	0 / 0.872 (NFELB)	0 / N/A	El <i>True Negative</i> más alto para la detección de NFELB fue 0.92, logrado por YOLOv5x.

Nota. Evalúa métricas de precisión y velocidad de los modelos YOLOv5 y YOLOv7

En síntesis, los resultados presentados en la Tabla 4 evidencian que los modelos basados en la arquitectura YOLO muestran un desempeño adecuado para la detección automática de huevos extraviados en sistemas de producción avícola. Los indicadores de precisión, rapidez y capacidad de detección demuestran el potencial de estas herramientas para aplicaciones de monitoreo automatizado dentro de sistemas productivos. La implementación de este tipo de modelos de visión artificial podría contribuir significativamente a reducir la necesidad de inspección manual en el área de pastoreo o galpón, optimizando las labores operativas y apoyando la toma de decisiones dentro de sistemas basados en tecnologías de Ganadería de Precisión.

Alternativamente, han surgido modelos como EfficientNetV2 que logran una precisión mejorada con una velocidad de entrenamiento notablemente más rápida (aumentada hasta 11 veces) y una reducción del 15% en los parámetros, al implementar el módulo Fused-MBConv y una estrategia de aprendizaje progresiva (Demiray et al., 2021).

La implementación exitosa de estos sistemas de visión en entornos avícolas, particularmente en sistemas sin jaula (*Cage-free*), enfrenta desafíos considerables impuestos por las condiciones ambientales y operativas de las granjas. Factores como la intensidad de la luz variable, la densidad de la parvada y críticamente, el polvo de la granja avícola (que puede ser levantado por las aves o adherirse a las cámaras) afectan la disponibilidad de imágenes de alta resolución y desafían el reconocimiento preciso del comportamiento. Específicamente, el polvo acumulado en las cámaras puede oscurecer las imágenes y reducir la precisión de la detección, por lo que se recomienda la limpieza regular de los sensores. Además, la oclusión, donde los objetos son obstruidos por otras gallinas o por equipos fijos como bebederos, perchas y comederos, impacta la precisión. Para mitigar el problema de conjuntos de datos limitados o desequilibrados, se emplean

técnicas de aumento de datos (*Data Augmentation*), incluyendo transformaciones como desenfoque (*blur*), escalado, contraste y rotación aleatoria, para aumentar artificialmente la diversidad y mejorar el rendimiento del entrenamiento de los modelos DL. También es una práctica común el aprendizaje por *transferencia* (Transfer Learning), que utiliza modelos pre-entrenados para ajustar rápidamente la red a la tarea específica, conservando los pesos de las capas iniciales que extraen características generales (bordes, formas) para acelerar el entrenamiento y reducir la necesidad de recursos.

El monitoreo automático y continuo (Objetivo Específico) del bienestar y la eficiencia productiva de las gallinas se logra mediante la implementación de Métodos de Captura de Datos y Sensores Específicos que operan bajo el paraguas de la PLF. Este sistema integral combina el monitoreo de contacto (como los dispositivos RFID para el reconocimiento individual) y el monitoreo sin contacto, siendo este último fundamental para la bioseguridad y la recolección de datos no invasivos.

Los sensores específicos, incluyendo cámaras (de visión nocturna o termográficas), micrófonos y sensores ambientales (temperatura, humedad, amoníaco), son cruciales para recopilar datos en tiempo real sobre la actividad, el comportamiento y las condiciones del entorno. La integración de estos datos minimiza la necesidad de observaciones manuales y la toma de decisiones humanas, reduciendo significativamente el tiempo y el esfuerzo requerido para manejar grandes parvadas.

La tecnología de Sistemas de Visión Artificial y Aprendizaje Profundo (Deep Learning) es la solución directa para mitigar la labor más demandante y costosa: la recolección manual de huevos extraviados en el piso. La implementación estratégica de la PLF, apoyada en estos Métodos de Captura de Datos de Sensores Específicos y Sistemas de Visión Artificial, es el pilar tecnológico que permite la optimización de procesos, haciendo

que la producción de huevos en pastoreo a gran escala sea eficiente, rentable y sostenible, al reducir los costos laborales e integrar la gestión de datos clave.

Tecnologías Emergentes para Salud y Control de Comportamiento de Gallinas

Los indicadores de bienestar principales para gallinas en ambientes sin jaula incluyen la capacidad de identificar la forma de caminar, heridas, fallas cardíacas y daños por picoteo. Se observó en las fincas visitadas en la zona sabana de Bogotá que estos indicadores se extraen por monitoreo manual donde casi todo se basa en los ojos, oídos y manos del cuidador.

La inspección diaria caminando entre las aves es realizada por operarios / granjeros (stockpeople). Recorridos 1–3 veces al día por el galpón y el área de pastoreo. Caminan por los pasillos o “transectos”, observando cómo se mueve el grupo, si hay amontonamientos, aves quietas o aisladas. Miran si hay gallinas cojeando, que no quieren caminar o que se sientan con frecuencia (signos de cojera, dolor en patas o problemas cardíacos en casos severos). Observan color de cresta (pálida = posible anemia/enfermedad), plumaje erizado, postura encorvada, respiración con pico abierto, movimientos torpes. Se presta atención a aves que se quedan atrás o no siguen al grupo, caminan con pasos cortos, se sientan mucho o usan las alas para equilibrarse. Escuchan toses, estornudos, ruidos respiratorios, gritos de dolor, aumento súbito del ruido del lote (estrés, depredador, pelea). Se detectan zonas con aves notablemente “peladas” en cabeza/cuello, dorso, cloaca.

Huelen olores fuertes de amoníaco (cama húmeda → dermatitis, problemas respiratorios). Sienten (cuando atrapan algunas aves) temperatura corporal, peso, prominencia del esternón, heridas. almohadillas (dermatitis, quemaduras por amoníaco), articulaciones inflamadas, uñas demasiado largas o rotas. El personal suele acercarse y atrapar algunas aves para ver si hay solo plumas rotas, o piel expuesta, heridas, sangre seca (señal clara de picoteo severo / canibalismo).

Al estar al aire libre, el control sanitario sigue siendo visual y de rutina realizando actividades de monitoreo y diagnóstico como actividad en el rango, si hay preferencia por zonas muy específicas, o muchas aves quedándose dentro (puede indicar depredadores, mal clima o enfermedad). En días muy calurosos se busca jadeo, alas separadas del cuerpo, aves tumbadas (riesgo de golpe de calor). En días fríos/húmedos puede existir agrupamientos, plumaje mojado y sucio (riesgo de hipotermia y problemas respiratorios)

Todas estas labores se realizan 100% manual. El trabajador necesita experiencia para distinguir qué es “normal” y qué es inicio de problema. Dependiendo del tamaño de la granja en sistemas comerciales sin automatización, la inspección diaria de bienestar y salud requiere mínimo 1 recorrido completo al día, de 20–40 min por nave, dependiendo de densidad y complejidad (aviarios con varios niveles, acceso a pasturas).

El modelo actual sin tecnología es intensivo en mano de obra y su calidad depende mucho de formación del personal en bienestar, tiempo disponible para observar y disposición del granjero a registrar y actuar rápido. Igualmente existirá la subjetividad al diagnosticar, cada operario interpreta distinto qué es leve o grave. El muestreo es limitado, sólo se revisa una pequeña fracción de aves de forma individual. La detección tardía, muchos problemas (picoteo, fracturas de esternón, enfermedades respiratorias) se ven cuando ya están extendidos y se depende del factor humano como cansancio, falta de motivación y exceso de trabajo.

El manejo del bienestar y la salud de las gallinas en sistemas sin jaula representa un desafío creciente para los productores, debido a la mayor libertad de movimiento de las aves, su exposición al ambiente y la complejidad de monitorear comportamientos individuales dentro de grandes lotes. Tradicionalmente, la detección de problemas sanitarios, lesiones o alteraciones de conducta se ha basado en la observación manual y la

experiencia del personal de campo, quienes deben recorrer diariamente los galpones y áreas de pastoreo para identificar signos visibles de enfermedad, estrés o agresividad. Este enfoque, aunque fundamental, depende en gran medida de la capacidad humana para percibir cambios sutiles y registrar información de forma consistente, lo que introduce un margen considerable de subjetividad y demora en la respuesta.

La evolución tecnológica en el sector avícola ha impulsado el desarrollo de sistemas de monitoreo automatizados basados en sensores, cámaras e inteligencia artificial (IA), los cuales permiten detectar patrones de movimiento, anomalías conductuales, fallas en la marcha, daño en el plumaje o alteraciones en los niveles ambientales en tiempo real. Estas herramientas no sustituyen al personal, sino que optimizan la gestión del bienestar animal al proporcionar alertas tempranas y datos objetivos que facilitan la toma de decisiones y reducen la carga operativa.

En la Tabla 5 se presenta una comparación detallada entre el proceso tradicional sin tecnología y el modelo automatizado con herramientas digitales, destacando las diferencias clave en la forma de realizar cada etapa, el nivel de precisión alcanzado y la cantidad de mano de obra requerida. Su propósito es evidenciar cómo la adopción tecnológica puede mejorar la eficiencia, trazabilidad y bienestar integral en la producción avícola.

Tabla 5*Comparación Proceso Tradicional sin Tecnología y Modelo Automatizado*

Etapa del proceso	Método manual (sin tecnología)	Método con tecnología (automatizado)
Observación general del lote	El operario recorre el galpón observando comportamiento, postura, ruido y actividad general.	Cámaras con visión computarizada y algoritmos de IA detectan automáticamente patrones anómalos (aves inmóviles, agrupamientos, estrés).
Evaluación del caminar (cojeras)	Se observa a ojo si hay aves cojas o que no caminan bien; posible palpación manual de patas.	Sistemas de visión artificial analizan trayectorias y velocidad de movimiento para identificar cojeras y registrar porcentajes.
Detección de heridas y picoteo	Revisión visual y manual de plumaje, cabeza, dorso y cloaca; se capturan algunas aves para revisión.	Cámaras de alta resolución detectan daño en plumaje y comportamientos de picoteo agresivo en tiempo real.
Monitoreo de bienestar y comportamiento	Se confía en la experiencia del trabajador para interpretar signos de estrés, cansancio o enfermedad.	Sensores de sonido y movimiento detectan gritos, cambios en vocalización y niveles de actividad anormales.
Detección de enfermedades o mortalidad	Recolección manual de aves muertas y observación visual de signos clínicos; necropsia básica.	Sistemas con visión o sensores detectan aves inactivas o muertas y alertan; correlación automática con parámetros ambientales.
Carga de trabajo humano	Alta; depende del ojo humano y experiencia; riesgo de error por fatiga.	Baja; el personal supervisa alertas y valida resultados, aumentando eficiencia y cobertura.

Nota. Contrasta los métodos manuales frente a los tecnológicos en etapas como la observación del lote, detección de cojeras y carga de trabajo humano.

La incorporación de tecnologías de la información en la producción avícola moderna constituye una estrategia esencial para optimizar la gestión del bienestar animal, reducir la

dependencia de la observación manual y mejorar la capacidad de respuesta ante alteraciones en la salud o el comportamiento de las aves. Las siguientes soluciones tecnológicas representan los principales pilares para la automatización de dichos procesos.

Visión artificial e inteligencia artificial (IA)

El uso de cámaras de video combinadas con algoritmos de *machine learning* o redes neuronales convolucionales (CNN) permite realizar un análisis continuo de imágenes en tiempo real. Estas tecnologías pueden:

- Identificar automáticamente cojeras, caídas, inactividad o comportamientos anómalos.
- Detectar daño en el plumaje, heridas o conductas de picoteo agresivo mediante patrones visuales.
- Realizar reconocimiento individual o por grupo para generar indicadores de bienestar sin intervención humana.

La IA aprende progresivamente a partir de miles de imágenes etiquetadas, logrando una precisión superior al ojo humano en la detección temprana de alteraciones conductuales.

La IA y la visión artificial se enmarcan en las estrategias de monitoreo sin contacto. Este método utiliza cámaras, sensores y otras tecnologías para observar a las aves a distancia sin perturbarlas, permitiendo la recopilación de datos de comportamiento a lo largo del tiempo. Esto también mejora la bioseguridad de la granja. Los productores y expertos muestran un gran interés en el uso de cámaras y micrófonos para la monitorización continua de la salud y el bienestar, con el fin de detectar desviaciones en una fase temprana, reducir la subjetividad de la evaluación y adquirir más conocimiento sobre el comportamiento.

El campo del *deep learning* (aprendizaje profundo) ha emergido como una herramienta poderosa para resolver problemas complejos en la visión por computadora.

- Redes Neuronales Convolucionales (CNN): Las CNN son uno de los métodos de *deep learning* más populares y se utilizan para analizar datos relacionados con el comportamiento, el bienestar y la salud de los animales, permitiendo identificar signos de lesiones, enfermedades o estrés. Por ejemplo, se ha logrado un sistema de clasificación automático para huevos sucios con una precisión media del 94.84% utilizando un modelo CNN.

- YOLO (You Only Look Once): Es un algoritmo de detección de objetos popular en visión artificial debido a su velocidad y precisión. Se utiliza como modelo de aprendizaje automático, especialmente por su capacidad de detección en tiempo real. El modelo YOLOv5 se ha utilizado en la industria avícola para detectar aves, su rendimiento, comportamiento y estado de bienestar. Las versiones recientes de YOLO (YOLOv5, YOLOv6, y YOLOv7) se lanzaron con algoritmos mejorados y más funciones computacionales.

Los modelos de *deep learning* se han desarrollado para clasificar y detectar una variedad de comportamientos aplicados y problemáticos en gallinas, especialmente en sistemas sin jaulas. Se ha desarrollado un clasificador de seis comportamientos para gallinas ponedoras sin jaulas: alimentación (*feeding*), bebida (*drinking*), caminar (*walking*), uso de perchas (*perch*), baño de polvo (*dust bathing*) y anidación (*nesting*). El clasificador YOLOv5-cls-m demostró un mejor rendimiento general, con una precisión media del 95.3%. La bebida en polluelos (*chicks drinking*) se monitoreó con la mayor precisión (97.8%). Se ha desarrollado un detector basado en la red YOLO para detectar y recoger aves enfermas en condiciones de hacinamiento con una precisión del 84.3%.

A pesar de los avances, la aplicación de la visión artificial y la IA en entornos avícolas comerciales enfrenta varios retos:

- **Factores Ambientales:** La precisión de la detección se ve desafiada por factores ambientales externos como el polvo de la granja (que puede ser agitado por las aves y adherirse a las cámaras), la intensidad de la luz variable, la densidad del lote y la presencia de instalaciones en las casas avícolas. Se recomienda una limpieza periódica de las cámaras para mitigar la disminución de la precisión.

- **Oclusión de Objetos:** El rendimiento de la detección individual disminuye debido a que las imágenes se ven ocluidas por otras gallinas o por el equipo (como las líneas de bebida, comederos y perchas).

- **Diseño de Instalaciones:** Las instalaciones pueden causar errores de clasificación. Por ejemplo, el comportamiento de percha se confunde a veces con el de bebida debido a la similitud de color entre las líneas de bebedero y las columnas del marco, sugiriendo cambiar el color de las instalaciones similares como posible solución.

- **Necesidad Humana:** La tecnología PLF, aunque prometedora, no debe ni puede reemplazar las inspecciones de la parvada realizadas por un cuidador humano, sino que debe verse como una adición a la caja de herramientas de gestión. Los sistemas de IA deberían idealmente proporcionar orientación y consejos claros después de detectar desviaciones importantes.

Sistema Automatizado para Afrontar los Desafíos de Producción Avícola

El desarrollo de un Prototipo surge como respuesta a las crecientes exigencias de bienestar animal, eficiencia operativa y sostenibilidad en sistemas sin jaula. En estos entornos, donde las gallinas tienen libertad de movimiento y los patrones de comportamiento son altamente dinámicos, el monitoreo tradicional basado en la observación humana resulta limitado, subjetivo y poco escalable.

Para superar estas barreras, la integración de tecnologías como sensores IoT, RFID, visión artificial, deep learning y plataformas de análisis en la nube constituye una estrategia transformadora. Estas herramientas permiten automatizar la detección de huevos extraviados en el piso, vigilar continuamente el estado sanitario y el comportamiento del lote, y generar información precisa en tiempo real para la toma de decisiones. Así, el prototipo conceptual propuesto combina infraestructura sensorial, sistemas de identificación, modelos avanzados de análisis y arquitecturas de cómputo distribuidas, con el fin de reducir la carga laboral, anticipar problemas productivos y elevar el bienestar animal en granjas “cage free”, especialmente aquellas operadas por pequeños y medianos productores.

Sensores IoT (Internet of Things)

Los sensores distribuidos en el galpón o áreas de pastoreo permiten recopilar y transmitir datos de manera automática hacia una plataforma central.

Tipos de sensores aplicables:

- Ambientales: temperatura, humedad, concentración de CO₂, NH₃, niveles de polvo y luminosidad, para anticipar condiciones que afectan la salud respiratoria o el estrés térmico. valores fuera del rango de confort térmico generan estrés calórico, disminución del

consumo de alimento, caída en la postura y riesgo de mortalidad. Los sensores IoT registran estos parámetros y activan sistemas automáticos de ventilación o nebulización.

- De movimiento y presencia: detectan niveles de actividad, densidad de agrupamiento y patrones de desplazamiento. Los sensores de movimiento (PIR, acelerómetros, cámaras térmicas o ultrasónicas) permiten registrar la dinámica de las aves dentro del galpón. Detectan niveles de actividad general, diferenciando entre aves en reposo, caminando o alimentándose. Identifican zonas con aglomeraciones anómalas, que pueden indicar estrés térmico, fallas en el flujo de aire o comportamientos de jerarquía agresiva. Miden el tiempo promedio de locomoción, indicador clave para la detección temprana de cojeras, fatiga o problemas cardíacos.

- De peso y alimentación: integrados en comederos o bebederos inteligentes, permiten calcular consumo diario y detectar anomalías metabólicas o de salud. El descenso en el consumo indica inicio de enfermedad infecciosa, deshidratación o estrés ambiental. Los incrementos anómalos pueden asociarse con fallas mecánicas o alteraciones metabólicas. Los datos se correlacionan automáticamente con las condiciones ambientales, permitiendo distinguir entre causas fisiológicas y externas.

- Luminosidad y ruido ambiental: La luz es un regulador biológico esencial en las aves, ya que influye en su actividad, conducta social, descanso y ciclo de postura. Los sensores IoT de luminosidad permiten mantener niveles óptimos de luz. La intensidad, duración y calidad del fotoperiodo afectan el estrés, la agresividad y la productividad. Los niveles excesivos de luz pueden incrementar el picoteo agresivo, la inquietud y la ansiedad grupal. Los niveles insuficientes afectan el acceso uniforme a recursos, la actividad física y la sincronización del ciclo reproductivo.

El ruido es un indicador clave del bienestar emocional en gallinas y un potencial desencadenante de estrés crónico. Los sensores IoT de ruido permiten una vigilancia precisa de este factor. El ruido elevado puede indicar presencia de depredadores, disturbios, tormentas o fallas mecánicas. También puede señalar eventos de estrés colectivo, como peleas, picoteo severo y competencia por recursos. Las gallinas emiten vocalizaciones específicas asociadas con dolor, miedo, hambre, aislamiento, agresión, comportamiento de alarma.

Tecnología RFID (Radio Frequency Identification).

Constituye una herramienta avanzada de trazabilidad y monitoreo en la producción avícola moderna. Su principio se basa en la comunicación inalámbrica entre un microchip (tag), generalmente adherido a cada ave, y un lector RFID que captura su identificación única cuando esta se encuentra dentro de un rango determinado. Esta interacción permite registrar en tiempo real la presencia, desplazamiento y comportamiento espacial de cada individuo dentro de las instalaciones, transformando la gestión del bienestar animal en un proceso cuantificable y continuo. La tecnología RFID se ha utilizado para analizar patrones de movimiento y distribución en gallinas ponedoras de campo libre (*free-range*). Se pueden usar RFID tags o marcadores visuales en el ave para la identificación individual.

Cada gallina porta un dispositivo RFID pasivo o activo. Los tags pasivos son ligeros, sin batería, y se activan por la señal emitida por los lectores. Los tags activos incorporan una pequeña batería que permite ampliar el rango de lectura y la frecuencia de transmisión. Los lectores se instalan estratégicamente en zonas clave del galpón (comedores, bebederos, nidos, perchas, áreas de descanso y acceso al exterior). Cuando las gallinas se desplazan, los lectores registran el código único de cada tag junto con la hora y ubicación, construyendo una base de datos dinámica de movimiento y distribución espacial.

Se han utilizado sensores de actividad (acelerómetros de 3 ejes) para monitorear continuamente el movimiento de las gallinas antes, durante y después de la infestación con ácaros. Los sensores portados en el cuerpo (*body carried sensors*), como los sensores implantados o RFID, son una forma de monitoreo de contacto.

La aplicación de tecnología RFID en sistemas avícolas sin jaula permite avanzar desde una observación tradicional basada en la percepción humana hacia un monitoreo objetivo y continuo del comportamiento de las gallinas. El registro automatizado de la movilidad individual, la distribución espacial y la interacción con el entorno proporciona información esencial para comprender dinámicas conductuales que antes eran difíciles de cuantificar. Al mismo tiempo, estos datos contribuyen significativamente a la detección temprana de problemas sanitarios y al fortalecimiento del bienestar animal. En la Tabla 6 se sintetiza los elementos clave del análisis de patrones de movimiento y sus aportes directos a la salud y bienestar, destacando los beneficios de integrar RFID como herramienta de vigilancia avanzada en la producción avícola moderna.

Tabla 6*Aplicación de la Tecnología RFID en Gallinas sin Jaula*

Aspecto	Análisis de patrones de movimiento	Aportes a la salud y el bienestar animal
Objetivo principal	Registrar la movilidad individual y grupal de las gallinas dentro del galpón o área de pastoreo, mediante lectores RFID estratégicamente ubicados.	Detectar de forma temprana cambios fisiológicos o conductuales que afecten el bienestar y la salud de las aves.
VARIABLES registradas	Rutas de desplazamiento, frecuencia de visitas a comederos, bebederos y nidos, tiempo de actividad y reposo, zonas de mayor permanencia.	Nivel de actividad, interacción social, frecuencia de alimentación e hidratación, uso de perchas y espacios de descanso.
Metodología de captura	Lectores fijos y antenas RFID capturan señales de tags activos o pasivos adheridos a las aves; los datos se envían a una base central para análisis.	Correlación de datos de movimiento con variables ambientales (temperatura, gases, luz) y registros de comportamiento anómalo. Detección temprana de cojeras
Indicadores clave	Patrón de movilidad promedio.- Densidad de ocupación por zonas.- Trayectorias preferidas.- Actividad diaria por hora.	fatiga.- Identificación de aislamiento social.- Cambios en la rutina de alimentación.- Estrés térmico o conductual.
Resultados esperados	Identificación de rutas óptimas, distribución espacial equilibrada y predicción de comportamientos grupales.	Mejora en la detección preventiva de enfermedades, reducción de estrés y agresividad, aumento del bienestar general.
Aplicación práctica	Optimización del diseño de galpones, ajuste de densidad poblacional y distribución de recursos (nidos, bebederos, comederos).	Intervenciones veterinarias tempranas, rediseño de programas de manejo y verificación objetiva de bienestar animal.

Nota. Describe el uso de dispositivos de identificación para registrar patrones de movimiento y actividad individual, mejorando la detección temprana de enfermedades

Plataformas de Análisis de Datos y Cloud Computing

La información generada por cámaras y sensores se almacena en plataformas en la nube que permiten consolidar grandes volúmenes de datos en tiempo real (*Big Data*), aplicar algoritmos de análisis predictivo para anticipar brotes de enfermedad, desbalances nutricionales o comportamientos anómalos. Generar paneles de control (dashboards) accesibles desde cualquier dispositivo, con indicadores de bienestar, productividad y alarmas automáticas. Estas soluciones facilitan la toma de decisiones basada en evidencia, disminuyen la dependencia del registro manual y promueven una gestión integral y trazable.

El Cloud Computing permite procesar video de alta resolución, almacenar históricos y entrenar redes neuronales sin invertir en servidores propios lo cual brinda:

Escalabilidad. Permite agregar más cámaras o galpones sin comprar hardware adicional.

Alto poder de Cómputo (GPU/TPU). Los algoritmos de deep learning para detectar gallinas, seguirlas o identificar comportamientos consumen muchos recursos; el cloud entrega **GPU aceleradas**.

Integración con Modelos Pre-Entrenados. Servicios como AWS, Azure o Google Cloud permiten usar modelos de detección de objetos, reconocimiento de movimiento, clasificación de anomalías como base para modelos avícolas personalizados.

Almacenamiento Ilimitado. Históricos de video para auditorías de bienestar animal, trazabilidad, análisis semanales/mensuales.

Actualización Centralizada. Los modelos de IA y reglas se actualizan sin intervenir físicamente la granja.

En estos sistemas, la arquitectura suele combinar un componente local (edge computing) con procesamiento centralizado en la nube. Las cámaras instaladas en los galpones capturan el movimiento, el uso del espacio y el estado físico de las aves. Luego, pequeños dispositivos locales como Nvidia Jetson o NUCs, realizan un preprocesamiento para reducir ruido, detectar aves de manera preliminar y enviar únicamente la información relevante a la nube. Allí, algoritmos de deep learning ejecutan tareas más exigentes, como segmentación de plumaje, análisis de marcha, detección de heridas, reconocimiento de patrones de picoteo dañino y predicción de riesgos sanitarios. Este esquema híbrido resuelve problemas de conectividad rural y reduce costos de transmisión.

La Figura 3 ilustra el flujo de la arquitectura de tecnologías de la información propuesta para el sistema de monitoreo en la producción de huevos en pastoreo. En esta arquitectura se integran diferentes componentes tecnológicos que permiten la captura, transmisión, procesamiento y análisis de datos generados en el sistema productivo. El flujo comienza con la recolección de información mediante sensores y dispositivos de captura de imágenes, los cuales registran datos relacionados con la presencia de huevos, el comportamiento de las aves y las condiciones del entorno. Posteriormente, estos datos son transmitidos a una plataforma de procesamiento donde se aplican técnicas de análisis basadas en Inteligencia Artificial, como visión artificial y algoritmos de aprendizaje automático. Finalmente, la información procesada se transforma en indicadores y alertas que apoyan la toma de decisiones del productor, contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa y a reducir la carga de trabajo manual en el sistema productivo.

Figura 3

Flujo Arquitectura Ti



Nota. Representa el camino de los datos. Diseño con apoyo de la herramienta de diagramación web plantUML.

El deep learning es la pieza central de esta transformación. Modelos de detección de objetos permiten identificar aves individuales y estimar densidades en cada zona del galpón. Algoritmos de seguimiento (tracking) analizan la movilidad de cada gallina y permiten reconocer comportamientos anómalos, como letargo, aislamiento o exceso de actividad. Mediante técnicas de estimación de postura, los sistemas pueden evaluar la calidad de la marcha y detectar precozmente cojeras o dificultades motoras. A esto se suman redes neuronales especializadas en identificar parches sin plumas, heridas visibles, cambios en la postura corporal, signos de estrés térmico detectables mediante cámaras térmicas y patrones grupales asociados al picoteo injurioso. Todo este análisis, antes dependiente del ojo experto del operario, se automatiza y se hace cuantitativo.

Diversas plataformas comerciales y ecosistemas tecnológicos ya integran estas capacidades. Algunas, como Fancom, MTech Systems o Poultry Sense, combinan cámaras con sensores ambientales para ofrecer una visión holística de la salud y productividad del lote. Otras se apoyan en soluciones genéricas del cloud, como AWS SageMaker o Azure Custom Vision, para entrenar modelos a partir de imágenes capturadas directamente en las granjas. En todos los casos, el objetivo es el mismo: detectar problemas antes de que se agraven, mejorar el bienestar animal y permitir un manejo más preciso y eficiente.

En la Tabla 7 se presenta un panorama técnico de las principales plataformas y ecosistemas utilizados actualmente en la avicultura digital, destacando su infraestructura, capacidades analíticas y aplicaciones específicas dentro de sistemas comerciales modernos, particularmente aquellos sin jaula o con altos estándares de bienestar animal.

Tabla 7*Plataformas y Ecosistemas Reales en Avicultura Digital*

Plataforma / Ecosistema	Tipo de tecnología	Funciones principales	Aplicación en avicultura
Fancom	Sensores + IA + automatización ambiental	Monitoreo continuo de clima, ventilación, amoníaco, CO ₂ ; análisis de comportamiento.	Optimiza ambiente del galpón, reduce estrés térmico, mejora bienestar y productividad.
Big Dutchman Amacs	IoT + gestión ambiental + datos operativos	Control de iluminación, comederos, ventilación; análisis de consumo y desempeño.	Administración completa del galpón con enfoque en producción y bienestar.
Opticon Agri Systems	Sensores ambientales + monitoreo de producción	Seguimiento de peso, temperatura, humedad, consumo de agua; alertas.	Control sanitario, detección de anomalías ambientales tempranas.
MTech Systems (Aviagen)	(Análisis predictivo + BI + modelamiento)	Predicción de rendimiento, análisis de lotes, modelos de productividad.	Soporte a toma de decisiones para integrar datos de salud, ambiente y producción.
Poultry Sense	Sensores IoT + IA para bienestar	Monitoreo intensivo de temperatura, CO ₂ , humedad; modelos de predicción de mortalidad.	Detección temprana de enfermedades y evaluación continua del bienestar.
ChickenBoy / Br oilerVision	Robots + visión computacional	Cámaras móviles autónomas, detección de comportamiento y salud.	Inspección automática del galpón y detección de problemas sin intervención humana.
AWS IoT + SageMaker	Cloud + Deep Learning	Entrenamiento de modelos de visión, ingestión de video, análisis en tiempo real.	Sistemas personalizados de detección de aves, picoteo, cojera, heridas.
Azure FarmBeats / Custom Vision	Cloud + inteligencia artificial	Análisis avanzado de imágenes, integración con sensores y dashboards.	Desarrollo rápido de soluciones IA aplicadas a granjas avícolas.
Google Cloud Vision + Vertex AI	Cloud + Machine Learning	Procesamiento de video, clasificación, análisis de comportamiento.	Reconocimiento de patrones, predicción de riesgos sanitarios.

Nota. Enumera soluciones comerciales existentes y sus aplicaciones específicas en el monitoreo ambiental y bienestar animal.

Los beneficios para el productor son significativos. La detección temprana de enfermedades o comportamientos anormales reduce la mortalidad y evita pérdidas productivas. El monitoreo automatizado del picoteo y del plumaje permite intervenir antes de que aparezcan heridas graves o brotes de canibalismo. Las decisiones se vuelven más objetivas, apoyadas en datos continuos que muestran tendencias y comparaciones entre lotes o granjas. También disminuye la carga laboral asociada a inspecciones manuales constantes, permitiendo al personal enfocarse en intervenciones de mayor valor.

Sin embargo, aún existen desafíos. El entrenamiento de modelos requiere grandes cantidades de imágenes etiquetadas, y las condiciones del entorno —como polvo, iluminación variable y movimiento rápido— dificultan la precisión. La conectividad en zonas rurales exige un buen equilibrio entre procesamiento local y en la nube. Además, identificar aves individualmente a largo plazo sigue siendo complejo, debido a su apariencia casi idéntica.

A pesar de estos retos, la tendencia es clara: el futuro de la avicultura pasa por sistemas inteligentes capaces de interpretar de manera continua lo que ocurre dentro del galpón. Las próximas etapas incluirán la identificación individual sin marcadores, robots autónomos que recorren el gallinero recolectando datos, y el desarrollo de gemelos digitales que simulen el comportamiento del lote para anticipar riesgos antes de que estos aparezcan. Estas tecnologías no reemplazan al operario, pero amplifican su capacidad de cuidado, permitiendo una avicultura más eficiente, sostenible y centrada en el bienestar animal.

Análisis de los Resultados de las Encuestas

Con el propósito de identificar y analizar las labores más demandantes en tiempo y esfuerzo dentro de los sistemas de producción de huevos en pastoreo y semiconfinamiento, se llevó a cabo la aplicación de encuestas a productores avícolas ubicados en la sabana de Bogotá. Específicamente, el levantamiento de información se realizó en cuatro granjas representativas localizadas en los municipios de Cogua, Chía, Zipaquirá y Tabio, zonas caracterizadas por una alta actividad en producción avícola a pequeña y mediana escala. El análisis de los resultados obtenidos permite establecer patrones comunes entre las granjas evaluadas, así como identificar diferencias en la gestión operativa y el uso de recursos. Estos hallazgos constituyen una base empírica fundamental para validar la problemática planteada en la investigación, especialmente en lo relacionado con la alta dependencia de la mano de obra y la ineficiencia en ciertas labores críticas del proceso productivo.

Finalmente, los resultados obtenidos sirven como insumo clave para la formulación del modelo tecnológico propuesto, basado en principios de Ganadería de Precisión (PLF), orientado a optimizar la producción de huevos en sistemas sin jaula mediante la reducción de tiempos operativos, disminución de pérdidas y mejora en la toma de decisiones a partir del uso de tecnologías de la información.

Para evaluar la viabilidad del modelo tecnológico propuesto, se implementó un proceso de validación basado en un enfoque analítico-descriptivo, utilizando los datos recolectados de las encuestas aplicadas a productores avícolas de la sabana de Bogotá.

La validación se desarrolló a través de la construcción de escenarios comparativos entre el sistema tradicional y el sistema propuesto, evaluando variables como carga operativa, pérdidas productivas, detección de eventos y bienestar animal.

Metodología, Población y Muestra

Para el desarrollo de la investigación, la población de estudio estuvo conformada por las granjas avícolas productoras de huevo ubicadas en la sabana de Bogotá, particularmente en los municipios de Cogua, Chía, Zipaquirá y Tabio. A partir de esta población, se seleccionó una muestra integrada por cuatro granjas (Alaska, El Bosque, San Jorge y Avícola San Juan), las cuales fueron elegidas debido a su accesibilidad, disposición para participar y representatividad en términos de tamaño. La recolección de información se realizó mediante la aplicación de encuestas semiestructuradas y entrevistas directas a los productores, permitiendo obtener datos cuantitativos y cualitativos sobre variables clave como producción, pérdidas, mano de obra, tiempos operativos y uso de tecnología. Este enfoque metodológico facilitó la caracterización del sistema productivo en condiciones reales de campo y la identificación de problemáticas relevantes para el análisis y la propuesta tecnológica.

Cuadro de resultados: Granja Alaska, Cogua

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a la granja Alaska, ubicada en el municipio de Cogua. Esta información fue recolectada mediante entrevista directa con el productor permitiendo obtener datos reales sobre las condiciones operativas, productivas y tecnológicas del sistema de producción avícola.

Nombre de granja: Alaska, Cogua.

Tamaño del lote: 5.000 gallinas ponedoras.

Tabla 8*Resultados Encuesta, Granja Alaska*

Variable	Pregunta	Respuesta
Producción diaria	Huevos/día	4500 – 4800
Producción por gallina	Relación producción	≈ 1 huevo/gallina
Pérdidas	% de huevos perdidos	0,1
Problema principal	Tipo de pérdida	Huevos sucios y rotos
Tipo de recolección	Manual / automático	Manual
Personal recolección	Nº de personas	3
Frecuencia recolección	Veces por día	3
Tiempo por recolección	Duración en horas	1
Tiempo total diario	(Calculado horas)	3
Labor más demandante	¿Qué actividad consume más tiempo?	Limpieza, clasificación y empaque
Actividades clave	Detalle	Limpiar, pesar, clasificar, empaçar
Tecnología actual	¿Usa tecnología?	Clasificadora de huevos
Función	¿Qué hace?	Clasifica por tamaño (A, B, AA)
Interés en tecnología	¿Implementaría más?	Sí
Tecnología deseada	¿Cuál?	Sistema de alimentación automático (sinfin)

Nota. Datos operativos de la granja de 5.000 aves.

Tabla 9*Indicadores Clave para Análisis, Granja Alaska*

Indicador	Cálculo	Resultado
Eficiencia productiva	4500 / 5000	90%
Pérdida diaria	10%	Alta
Carga laboral	3 horas/día (solo recolección)	Alta
Intensidad de mano de obra	3 personas	Media
Cuello de botella	Clasificación y limpieza	Crítico

Nota. Interpretación los resultados anteriores.

Los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a las granjas avícolas evidencian una alta dependencia de la mano de obra para la ejecución de actividades operativas críticas, especialmente en procesos como la recolección, clasificación, limpieza y control sanitario de los huevos. En el caso de la granja Alaska, por ejemplo, se identificó que únicamente la actividad de recolección puede demandar hasta 3 horas diarias de trabajo con tres operarios, lo que refleja una carga operativa significativa y escalable a medida que aumenta el tamaño del lote.

Adicionalmente, se reportan pérdidas cercanas al 10% de la producción diaria, asociadas principalmente a huevos sucios, rotos o mal ubicados (fuera de nidos), lo cual impacta directamente la rentabilidad del sistema. Estas pérdidas no solo representan una disminución en los ingresos del productor, sino que también implican un aumento en el tiempo invertido en la identificación, recuperación y clasificación manual de los huevos.

En este contexto, la implementación de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) y visión artificial se justifica como una estrategia clave para mejorar la eficiencia productiva, reducir la carga de trabajo manual y optimizar la toma de decisiones en sistemas de producción avícola en pastoreo o sin jaula. Estas tecnologías permiten transformar procesos tradicionalmente manuales en procesos automatizados, medibles y basados en datos en tiempo real.

Desde el enfoque de la Ganadería de Precisión (PLF), el uso de sensores IoT facilita la recolección continua de variables críticas como el consumo de alimento y patrones de actividad de las aves. Esto permite detectar de manera temprana condiciones de estrés, enfermedades o ineficiencias en el sistema, reduciendo la necesidad de inspecciones manuales constantes y mejorando el control sanitario, el cual fue identificado como una prioridad de inversión por parte del productor.

En conjunto, la integración de estas tecnologías permite:

- Reducir la dependencia de la mano de obra en tareas repetitivas
- Disminuir las pérdidas de producción mediante detección temprana de problemas

- Mejorar el bienestar animal a través del monitoreo continuo
- Optimizar el uso de recursos (alimento, tiempo, espacio)
- Generar información objetiva para la toma de decisiones

De esta manera, la implementación de soluciones basadas en IoT y visión artificial no solo responde a una necesidad operativa identificada en campo, sino que constituye un elemento fundamental para garantizar la viabilidad y escalabilidad de los sistemas de producción de huevos en pastoreo a gran escala.

Cuadro de resultados: Granja El Bosque, Chia

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a la granja El Bosque, ubicada en el municipio de Chía. La información fue recolectada mediante entrevista directa con el productor, permitiendo caracterizar las condiciones operativas, productivas y el uso de recursos dentro del sistema.

Nombre de la granja: El Bosque (sector El Bosque, Chía)

Tamaño del lote: 12.000 gallinas ponedoras

Tabla 10*Resultados Encuesta, Granja El Bosque*

Variable	Pregunta	Respuesta
Ubicación	¿Dónde está ubicada?	Chía (sector El Bosque)
Tipo de recolección	¿Manual o automatizado?	Manual
Frecuencia recolección	¿Cuántas veces al día?	3 veces
Tiempo recolección	¿Tiempo diario?	3 horas
Mano de obra	¿Cuántas personas?	2 personas
Problemas principales	¿Qué problemas se presentan?	Huevos rotos y sucios
Pérdidas	¿% de pérdida?	2–3%
Labor más demandante	¿Qué actividad consume más tiempo?	Recolección de huevos
Uso de tecnología	¿Usa tecnología?	No (solo cámaras de seguridad)
Percepción tecnológica	¿Implementaría tecnología?	No (solo en proyectos grandes)
Prioridad	¿En qué invertiría?	Reducir mano de obra

Nota. Datos operativos de la granja**Tabla 11***Indicadores Clave para Análisis, Granja El Bosque*

Indicador	Cálculo / Interpretación	Resultado
Tamaño productivo	Escala de producción	Alto (12.000 aves)
Carga laboral	3 horas / 2 personas	Media
Intensidad de mano de obra	Manual total	Alta
Nivel tecnológico	Sin tecnología productiva	Bajo
Pérdidas productivas	2–3%	Baja
Principal cuello de botella	Recolección de huevos	Crítico
Motivación tecnológica	Reducción de mano de obra	Alta
Percepción de adopción	Baja (considera tecnología para grandes granjas)	Barrera

Nota. Interpretación los resultados anteriores.

Los resultados obtenidos en la granja El Bosque, con una capacidad de aproximadamente 12.000 gallinas ponedoras, evidencian un sistema de producción en galpón con procesos completamente manuales, especialmente en la recolección de huevos, la cual demanda alrededor de 3 horas diarias con dos operarios. Aunque el porcentaje de pérdida es relativamente bajo (2–3%), la dependencia total de la mano de obra representa una limitación operativa importante, especialmente en un contexto donde el productor manifiesta dificultad para conseguir personal.

En este escenario, la implementación de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) y visión artificial se justifica principalmente como una estrategia para reducir la dependencia de la mano de obra, optimizar el tiempo invertido en actividades repetitivas y mejorar la eficiencia operativa del sistema. A diferencia de otros casos donde la prioridad es reducir pérdidas, en esta granja el enfoque tecnológico debe orientarse a la automatización y apoyo a procesos críticos, particularmente la recolección y monitoreo del sistema.

Adicionalmente, aunque actualmente no se percibe la necesidad de implementar tecnología, esta percepción está asociada a la escala del sistema; sin embargo, con un lote de 12.000 aves, el volumen de producción ya justifica la incorporación de herramientas tecnológicas que permitan mejorar la gestión y preparar el sistema para una posible expansión futura.

Cuadro de resultados: Granja San Jorge, Zipaquirá

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a la granja San Jorge, ubicada en el municipio de Zipaquirá. La información fue recolectada mediante entrevista directa con el productor, permitiendo caracterizar las condiciones operativas, productivas y el uso de recursos dentro del sistema.

Nombre de la granja: San Jorge

Tamaño del lote: Aproximadamente 28.000 gallinas (14.000 en el sector evaluado)

Tabla 12

Resultados Encuesta, Granja San Jorge

Variable	Pregunta	Respuesta
Ubicación	¿Dónde está ubicada?	San Jorge
Producción diaria	¿Huevos/día?	11.500
Tipo de recolección	¿Manual o automatizado?	Manual
Mano de obra	¿Cuántas personas?	3 personas
Tiempo recolección	¿Tiempo diario?	5 horas
Frecuencia recolección	¿Veces al día?	3 veces
Problemas principales	¿Qué problemas se presentan?	Huevos en el suelo
Pérdidas	¿Cuántos huevos se pierden?	20–50 huevos/día
Labor más demandante	¿Qué actividad consume más tiempo?	Limpieza de huevos
Tiempo en limpieza	¿Cuánto tiempo toma?	2–3 horas
Uso de tecnología	¿Usa tecnología?	No
Impacto mano de obra	¿Limita la producción?	Sí
Prioridad de inversión	¿En qué invertiría?	Aumentar producción

Nota. Datos operativos de la granja

Tabla 13*Indicadores Clave para Análisis, Granja San Jorge*

Indicador	Cálculo / Interpretación	Resultado
Escala productiva	Tamaño total del sistema	Muy alta (≈ 14.000 aves)
Eficiencia productiva	11.500 / 14.000	$\approx 82\%$
Pérdida diaria	20–50 huevos / 11.500	Baja ($< 1\%$)
Carga laboral	5 horas / 3 personas	Alta
Intensidad operativa	Manual total	Muy alta
Cuello de botella principal	Limpieza de huevos	Crítico
Problema estructural	Huevos en el piso	Alto impacto operativo
Dependencia de mano de obra	Alta (limita crecimiento)	Crítica
Nivel tecnológico	Nulo	Bajo
Motivación tecnológica	Aumentar producción	Alta

Nota. Interpretación los resultados anteriores.

La granja San Jorge, con una escala aproximada de 28.000 gallinas ponedoras, representa un sistema de producción intensivo en galpón con un alto nivel de producción diaria (≈ 11.500 huevos). Sin embargo, los resultados evidencian una alta carga operativa derivada de la dependencia total de procesos manuales, especialmente en actividades como la recolección y, principalmente, la limpieza de huevos, la cual puede demandar entre 2 y 3 horas adicionales por jornada.

A pesar de que el porcentaje de pérdida es relativamente bajo (menos del 1%), se identifican problemas estructurales como la presencia de huevos en el piso (floor eggs), los cuales incrementan el tiempo de recolección y afectan la calidad del producto. Este tipo de

problema no solo impacta la eficiencia operativa, sino que también obliga a destinar más tiempo en procesos posteriores como la limpieza y clasificación.

Uno de los hallazgos más relevantes es que, en esta granja, la mano de obra sí limita la capacidad de expansión del sistema, lo cual es crítico considerando el tamaño actual de la operación. Esto evidencia la necesidad de migrar hacia un modelo productivo más eficiente, escalable y menos dependiente del factor humano.

En este contexto, la implementación de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) y visión artificial se justifica como una solución estratégica para:

- Reducir la carga operativa en tareas manuales intensivas
- Optimizar el tiempo invertido en procesos críticos
- Disminuir la dependencia de la mano de obra
- Mejorar la eficiencia productiva en sistemas de gran escala
- Facilitar la escalabilidad del sistema

Desde el enfoque de la Ganadería de Precisión (PLF), estas tecnologías permitirían transformar la operación en un sistema automatizado, monitoreado en tiempo real y basado en datos, mejorando la toma de decisiones y la gestión del proceso productivo.

Cuadro de resultados: Granja San Juan, Tabio

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a la granja San Juan, ubicada en el municipio de Tabio. La información fue recolectada mediante entrevista directa con el productor, permitiendo caracterizar las condiciones operativas, productivas y el uso de recursos dentro del sistema.

Nombre de la granja: Avícola San Juan

Tamaño del lote: Aproximadamente 10.000 gallinas ponedoras

Tabla 14*Resultados Encuesta, Granja San Juan*

Variable	Pregunta	Respuesta
Producción diaria	¿Producción promedio?	≈90% (≈250 cubetas/día)
Tipo de recolección	¿Manual o automatizado?	Manual
Mano de obra	¿Cuántas personas?	2 personas
Frecuencia recolección	¿Veces al día?	3 veces
Tiempo recolección	¿Tiempo diario?	3 horas
Tiempo limpieza	¿Tiempo limpieza huevos?	3 horas
Problemas principales	¿Qué problema se presenta?	Huevos sucios
Pérdidas	¿% de pérdida?	≈0.5%
Labor más demandante	¿Qué actividad consume más tiempo?	Limpieza de huevos y recolección
Uso de tecnología	¿Usa tecnología?	No (todo manual)
Interés tecnológico	¿Implementaría tecnología?	Sí (posible)
Prioridad	¿En qué invertiría?	Control sanitario

Nota. Datos operativos de la granja**Tabla 15***Indicadores Clave para Análisis, Granja San Juan*

Indicador	Cálculo / Interpretación	Resultado
Escala productiva	Tamaño del sistema	Media (10.000 aves)
Eficiencia productiva	≈90%	Alta
Pérdidas	≈0.5%	Muy baja
Carga operativa total	3h recolección + 3h limpieza	Alta (6 horas/día)
Intensidad de mano de obra	Manual total	Alta
Cuello de botella	Limpieza de huevos	Crítico
Problema principal	Huevos sucios	Operativo
Nivel tecnológico	Nulo	Bajo
Motivación tecnológica	Control sanitario	Alta
Potencial de mejora	Alto (procesos manuales)	Alto

Nota. Interpretación los resultados anteriores.

La granja Avícola San Juan, con una capacidad aproximada de 10.000 gallinas ponedoras, presenta un sistema de producción en galpón con alta eficiencia productiva ($\approx 90\%$) y un nivel de pérdidas muy bajo ($\approx 0,5\%$). Sin embargo, los resultados evidencian una alta carga operativa, especialmente en las actividades de recolección y limpieza de huevos, las cuales pueden demandar en conjunto hasta 6 horas diarias de trabajo manual.

El principal problema identificado no está relacionado con la cantidad de producción ni con pérdidas significativas, sino con la presencia de huevos sucios, lo que obliga a realizar procesos adicionales de limpieza que incrementan el tiempo de trabajo y afectan la eficiencia operativa. Este tipo de tarea, al ser repetitiva y dependiente de la mano de obra, representa un punto crítico dentro del sistema.

En este contexto, la implementación de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) y visión artificial se justifica como una estrategia orientada principalmente a:

- Reducir la carga operativa en procesos manuales
- Optimizar el tiempo dedicado a la limpieza y manejo del huevo
- Mejorar las condiciones sanitarias del sistema
- Mantener la eficiencia productiva alcanzada
- Generar información para una mejor toma de decisiones

A diferencia de otras granjas donde la prioridad es reducir pérdidas o mejorar la recolección, en Avícola San Juan el enfoque tecnológico debe centrarse en el control sanitario y la optimización de procesos post-recolección, lo cual fue identificado directamente por el productor como su principal interés de inversión.

Desde el enfoque de la Ganadería de Precisión (PLF), estas tecnologías permitirían mejorar la trazabilidad del proceso productivo y reducir la variabilidad en la calidad del huevo, asegurando un sistema más eficiente y sostenible.

Análisis Comparativo de las Granjas Avícolas

El análisis de las cuatro granjas evidencia que, aunque todas operan bajo sistemas similares (principalmente manuales), los problemas críticos varían según la escala y el manejo del sistema. En la *Tabla 16* se presenta un análisis comparativo completo de las 4 granjas y su posterior análisis:

Tabla 16

Cuadro Comparativo de Granjas Avícolas

Variable	Alaska	El Bosque	San Jorge	San Juan
Tamaño (aves)	5.000	12.000	28.000	10.000
Producción (%)	~90%	—	~82%	~90%
Pérdidas (%)	~10%	2–3%	<1%	~0.5%
Recolección	Manual	Manual	Manual	Manual
Mano de obra	3 pers.	2 pers.	3 pers.	2 pers.
Tiempo operativo	3 h/día	3 h/día	5 h/día + limpieza	6 h/día
Problema principal	Pérdidas	Mano de obra	Escalabilidad	Limpieza
Huevos en piso	Sí (implícito)	Bajo	Alto	Bajo
Nivel tecnológico	Bajo	Bajo	Nulo	Nulo

Nota. Consolida las variables de las cuatro granjas

El análisis de las cuatro granjas evidencia que, aunque todas operan bajo sistemas similares (principalmente manuales), los problemas críticos varían según la escala y el manejo del sistema:

- Granja Alaska: presenta el mayor nivel de pérdidas (~10%), lo que indica deficiencias en el control de postura y localización de huevos.

- Granja El Bosque: tiene pérdidas bajas, pero enfrenta limitaciones por disponibilidad de mano de obra.
- Granja San Jorge: destaca por su gran escala, donde la principal limitación es la alta carga operativa y dificultad para escalar.
- Granja San Juan: presenta alta eficiencia, pero con una carga operativa elevada en limpieza, afectando la eficiencia del tiempo.

En todos los casos, se evidencia una característica común que es la alta dependencia de procesos manuales lo cual limita la eficiencia operativa, la escalabilidad y la trazabilidad del sistema. El análisis comparativo demuestra que, independientemente de la escala del sistema productivo, la incorporación de tecnologías IoT y visión artificial es fundamental para transformar procesos manuales en sistemas eficientes, automatizados y basados en datos

En la *Tabla 17* se relacionan los problemas identificados y como las Tecnologías de la Información (TI) entran a apoyar la reducción de mano de obra en los procesos manuales intensivos y reducir la dependencia de operarios:

Tabla 17*Cuadro de Relación Problema – Solución Tecnológica*

Problema	Tecnología	Aplicación	Beneficio
Alta carga laboral	Automatización + IoT	Recolección y alimentación	Reduce mano de obra
Huevos en piso	Visión artificial	Detección automática	Reduce pérdidas
Huevos sucios	Sensores + monitoreo	Control ambiental	Mejora calidad
Falta de control	IoT + dashboards	Monitoreo en tiempo real	Mejor decisión
Escalabilidad	Sistemas automatizados	Producción intensiva	Expansión eficiente

Nota. Vincula directamente cada dificultad identificada en campo con una tecnología de TI específica y el beneficio esperado al implementarla.

El estudio comparativo evidencia que, aunque las problemáticas específicas varían entre granjas, todas convergen en un punto crítico: la necesidad de optimizar procesos manuales mediante tecnologías de la información

La implementación de soluciones basadas en IoT y visión artificial permite:

- Reducir la dependencia de la mano de obra
- Disminuir pérdidas productivas
- Optimizar tiempos operativos
- Mejorar el bienestar animal
- Facilitar la escalabilidad del sistema

Simulación de Mejoras con Implementación de TI

Con el fin de validar la viabilidad del modelo tecnológico propuesto, se desarrolló una simulación basada en los datos obtenidos de las encuestas aplicadas a productores

avícolas, complementados con valores de referencia reportados en el marco de la Ganadería de Precisión (PLF) y sistemas de visión artificial.

La simulación compara un escenario tradicional frente a un escenario tecnificado, evaluando el impacto en pérdidas de producción, eficiencia operativa y reducción de mano de obra.

A partir de los resultados de las encuestas, se establecieron las condiciones promedio del sistema tradicional de producción, caracterizado por procesos manuales, baja frecuencia de monitoreo y pérdidas asociadas a huevos no recolectados o dañados.

Granja Avícola Tradicional (basado en las encuestas aplicadas)

- Producción diaria: 1000 huevos
- Frecuencia de recolección: 1–2 veces/día
- Pérdida estimada: 8%
- Mano de obra: 2 operarios
- Tiempo de recolección: 3 horas/día

Cálculo:

- Huevos perdidos:

$$1000 \times 8\% = 80 \text{ huevos/día}$$

En otro escenario con implementación del modelo (IoT + Visión Artificial + PLF) se simula la implementación del modelo propuesto, incorporando sensores IoT para monitoreo continuo, algoritmos de visión artificial para detección automática de huevos y principios de Ganadería de Precisión para la gestión basada en datos.

Granja Avícola Tecnificada (basados en literatura PLF + visión artificial):

- Reducción de pérdidas: de 8% a 2%
- Monitoreo: continuo (tiempo real)

- Mano de obra: 1 operario
- Tiempo de recolección: 1.5 horas/día

Cálculo:

- Huevos perdidos:

$$1000 \times 2\% = 20 \text{ huevos/día}$$

En la Tabla 18 se realiza una comparación directa entre ambos escenarios con el fin de cuantificar los beneficios del modelo propuesto.

Tabla 18

Comparación de Resultados Granja Tradicional-Granja Tecnificada

Variable	Sistema Tradicional	Sistema Propuesto
Producción diaria	1000 huevos	1000 huevos
Pérdida (%)	8%	2%
Huevos perdidos	80	20
Huevos recuperados	—	60 huevos/día
Mano de obra	2 operarios	1 operario
Tiempo recolección	3 h	1.5 h

Nota. Presenta una simulación numérica de cómo el modelo propuesto podría reducir las pérdidas.

A partir de los resultados anteriores, se estima el impacto productivo del modelo en términos de recuperación de producción y mejora en la eficiencia operativa.

Recuperación diaria:

- $80 - 20 = 60$ huevos/día

Recuperación mensual:

- $60 \times 30 = 1800$ huevos/mes

Recuperación anual:

- $60 \times 365 = 21,900$ huevos/año

Esto representa un incremento significativo en la productividad sin aumentar la capacidad instalada.

Los resultados de la simulación evidencian que la implementación del modelo basado en IoT, visión artificial y Ganadería de Precisión permite una reducción considerable de pérdidas productivas, optimización del tiempo de operación y disminución de la carga laboral. Estos resultados son coherentes con estudios del enfoque PLF, donde el monitoreo continuo y la automatización permiten mejorar la eficiencia y el bienestar animal, así como con aplicaciones de visión artificial que han demostrado alta precisión en la detección de objetos en entornos agroindustriales.

Indicadores de Evaluación del Modelo Tecnológico

Con el fin de medir el impacto del modelo propuesto basado en tecnologías IoT, visión artificial y Ganadería de Precisión, se definieron indicadores cuantitativos orientados a evaluar la eficiencia operativa, la reducción de mano de obra y la mejora en la productividad del sistema avícola.

Indicador de reducción de mano de obra

En Ecuación 1 se mide la disminución en la cantidad de operarios necesarios para realizar la recolección de huevos.

Ecuación 1:

$$IRM = \frac{MO_{actual} - MO_{propuesto}}{MO_{actual}} \times 100$$

MO_actual = mano de obra actual

MO_propuesto = mano de obra con tecnología

Indicador de reducción del tiempo de recolección. En Ecuación 2 Evalúa la disminución del tiempo diario dedicado a la recolección de huevos.

Ecuación 2:

$$IRT = \frac{T_{actual} - T_{propuesto}}{T_{actual}} \times 100$$

Donde:

IRT = Índice de reducción del tiempo

T_actual = tiempo de recolección en el sistema tradicional

T_propuesto = tiempo de recolección en el sistema tecnificado

Indicador de mejora en la eficiencia productiva. En Ecuación 3 se mide la reducción de pérdidas de huevos.

Ecuación 3:

$$IEP = \frac{P_{actual} - P_{propuesto}}{P_{actual}} \times 100$$

IEP = Índice de mejora en la eficiencia productiva (%)

P_actual = cantidad de huevos perdidos en el sistema tradicional

P_propuesto = cantidad de huevos perdidos en el sistema con implementación del modelo tecnológico

Indicador de viabilidad económica (básico). En Ecuación 4 Evalúa si el sistema genera beneficios económicos.

Ecuación 4:

Beneficio = Huevos recuperad X precio unitario

Los indicadores definidos permiten cuantificar el impacto del modelo tecnológico propuesto, evidenciando mejoras significativas en la eficiencia operativa, reducción de mano de obra y disminución de pérdidas productivas. Estos resultados sustentan la viabilidad del modelo y su potencial aplicación en sistemas de producción avícola en pastoreo.

La Tabla 19 presenta los indicadores definidos para evaluar el impacto del modelo propuesto, junto con ejemplos calculados a partir de los resultados de las encuestas y valores de referencia reportados en el marco de la Ganadería de Precisión (PLF) y sistemas de visión artificial.

Tabla 19

Indicadores Definidos para Evaluar el Impacto del Modelo Propuesto

Indicador	Fórmula	Sistema Tradicional	Sistema Propuesto	Resultado	Interpretación
Reducción de mano de obra (IRM)	$(MO_a - MO_p) / MO_a \times 100$	2 operarios	1 operario	50%	Disminución significativa de personal requerido
Reducción del tiempo de recolección (IRT)	$(T_a - T_p) / T_a \times 100$	3 h/día	1.5 h/día	50%	Optimización del tiempo operativo
Mejora en eficiencia productiva (IEP)	$(P_a - P_p) / P_a \times 100$	80 huevos perdidos	20 huevos perdidos	75%	Reducción significativa de pérdidas
Impacto económico diario	Huevos recuperados \times precio	—	60 \times \$500 COP	\$30.000 COP/día	Incremento directo en ingresos

Nota. Establece las fórmulas matemáticas para medir el éxito del sistema

Diseño del Modelo Conceptual Tecnológico

En base a las tecnologías estudiadas y el análisis de los problemas frecuentes en la granjas evaluadas, el modelo tecnológico propuesto se fundamenta en los principios de la Ganadería de Precisión (PLF) y se estructura en cuatro componentes principales: captura de datos mediante sensores IoT y sistemas de visión artificial; transmisión y almacenamiento de datos en plataformas cloud; análisis mediante técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático; y finalmente un sistema de gestión que permita visualizar indicadores operativos y generar alertas tempranas. Este modelo permite identificar las labores de mayor demanda en la producción avícola en pastoreo, optimizando la toma de decisiones y reduciendo la dependencia de mano de obra manual.

Capa De Captura de Datos (Sensores y Dispositivos)

Esta capa recoge información de la granja en tiempo real y usa las siguientes tecnologías ya mencionadas:

- Cámaras con visión artificial para detectar huevos en el piso (floor eggs).
- Sensores IoT para detectar comportamiento de las gallinas.
- RFID o sensores de localización para medir temperatura, humedad, amoníaco.
- Sensores ambientales para identificar movimiento y densidad de aves.

Capa de Transmisión y Almacenamiento de Datos

Los datos recogidos deben almacenarse y transmitirse. Usa las siguientes tecnologías:

- Red IoT para almacenar información histórica.
- Base de datos para centralizar datos de sensores

- Cloud computing para análisis posterior

Capa de Análisis (IA y Análisis de Datos)

En esta capa es donde realmente se identifican las labores que consumen más tiempo. Usa las siguientes tecnologías:

- Machine Learning para realizar predicciones, clasificaciones o detecciones automáticas
- Visión artificial para identificar objetos, detectar patrones o monitorear eventos en tiempo real.
- Big Data para almacenar, procesar y analizar información masiva
- Modelos predictivos para prever problemas de salud en las aves, estimar la producción de huevos o identificar momentos de mayor demanda de mano de obra.

Capa de Gestión y Toma de Decisiones

En esta capa el sistema entrega información útil al avicultor. Usa las siguientes tecnologías:

- Dashboard de gestión
- Alertas automáticas
- Reportes de eficiencia

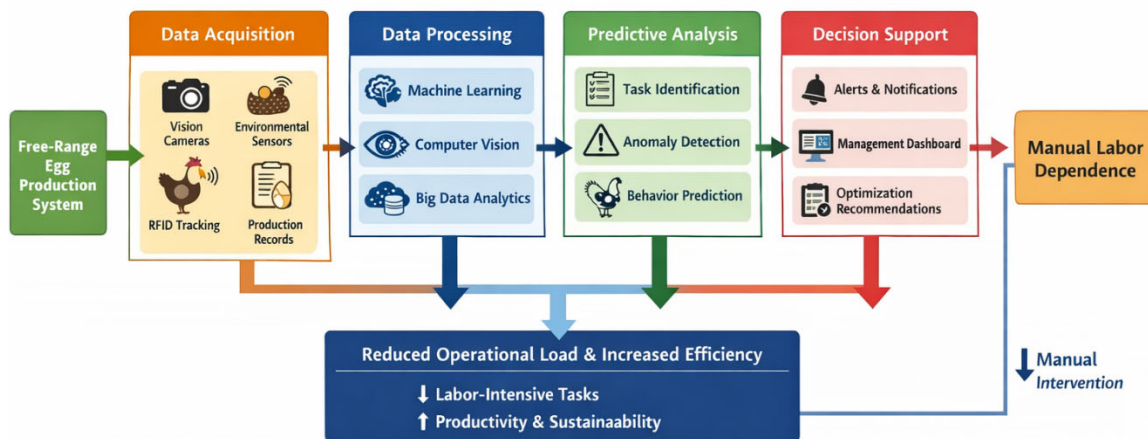
Estas tecnologías enviar alertas, por ejemplo, de exceso de huevos en el suelo; de comportamiento anómalo o tareas con mayor carga laboral

La Figura 4 presenta el modelo conceptual del sistema tecnológico propuesto para la optimización operativa en sistemas de producción de huevos en pastoreo. El modelo integra diferentes tecnologías digitales orientadas a la recolección, procesamiento y análisis de datos productivos, con el propósito de identificar las labores de mayor demanda operativa y apoyar la toma de decisiones del productor. A través de la integración de sensores, análisis

de datos y herramientas de apoyo a la gestión, el modelo busca contribuir a la reducción de la carga de trabajo manual y mejorar la eficiencia del sistema productivo.

Figura 4

Modelo Conceptual para la Optimización en la Producción de Huevos



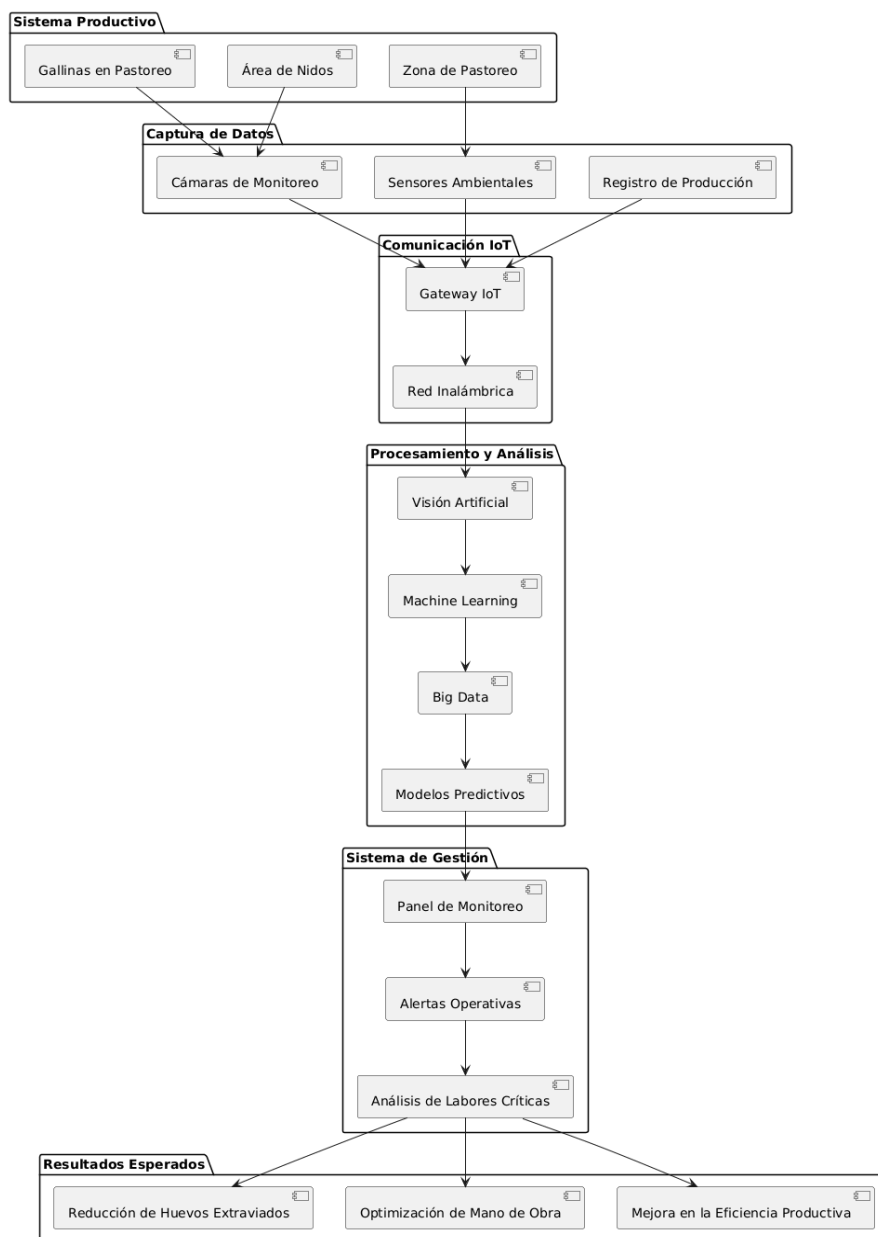
Nota. Diseño gráfico elaborado por el autor con apoyo de herramientas de generación de imágenes basadas en Inteligencia Artificial para fines de representación visual del sistema propuesto. La estructura conceptual, interpretación del problema y definición de los componentes del modelo corresponden al desarrollo original de la investigación.

La Figura 5 presenta una arquitectura conceptual organizada del modelo, en diferentes módulos funcionales que describen el flujo de información dentro del sistema propuesto. En primer lugar, se identifica el sistema productivo donde se generan los datos asociados al comportamiento de las aves y a la producción de huevos. Posteriormente, se integran los componentes de captura de datos mediante sensores y cámaras, los cuales permiten recolectar información del entorno y del lote. Esta información es transmitida a través de una capa de comunicación hacia módulos de procesamiento y análisis, donde se aplican técnicas de análisis de datos y algoritmos basados en Inteligencia Artificial.

Finalmente, los resultados son utilizados en un sistema de gestión que genera indicadores y alertas para apoyar la toma de decisiones del productor. Este diseño permite visualizar de forma estructurada la interacción entre los componentes tecnológicos del sistema y su contribución a la optimización de los procesos operativos en sistemas de producción de huevos en pastoreo.

Figura 5

Flujo Arquitectónico del Modelo Conceptual



Nota. Explicación del modelo conceptual ubicado por fases

El diseño del modelo conceptual tecnológico permitió estructurar una solución integral orientada a optimizar el proceso de recolección de huevos en sistemas de

producción en pastoreo, mediante la integración de tecnologías IoT, visión artificial y principios de Ganadería de Precisión. A través de este diseño, se definieron los componentes principales del sistema, incluyendo la capa de captura de datos (sensores y cámaras), la capa de comunicación, y la capa de procesamiento y análisis de información.

El modelo propuesto responde directamente a las problemáticas identificadas en el diagnóstico, particularmente la alta dependencia de mano de obra, la dificultad en la localización de huevos y las pérdidas asociadas a la recolección manual. La incorporación de tecnologías de monitoreo en tiempo real y detección automática permite transformar un proceso tradicional en uno más eficiente y basado en datos.

Asimismo, el diseño conceptual establece una arquitectura escalable y adaptable a diferentes contextos productivos, lo que facilita su implementación en sistemas avícolas de pequeña y mediana escala. Sin embargo, al tratarse de un modelo conceptual, su efectividad depende de la validación mediante análisis de viabilidad y simulación, los cuales permiten estimar su impacto en condiciones reales de operación.

En este sentido, el diseño desarrollado constituye la base para la evaluación del modelo tecnológico, permitiendo establecer escenarios de implementación y medir su potencial en la mejora de la eficiencia productiva y la reducción de pérdidas dentro del sistema avícola.

Conclusiones

A partir del desarrollo de la investigación y el análisis de los resultados obtenidos mediante encuestas aplicadas a productores avícolas de la sabana de Bogotá, se identificó que el proceso de recolección de huevos en sistemas de pastoreo presenta una alta dependencia de mano de obra, tiempos operativos elevados y pérdidas de producción asociadas a la falta de monitoreo continuo.

El modelo tecnológico propuesto, basado en la integración de tecnologías IoT, visión artificial y principios de Ganadería de Precisión, se presenta como una alternativa viable para mejorar la eficiencia del sistema productivo, al permitir la detección oportuna de huevos, el monitoreo en tiempo real y la optimización de las labores operativas.

La simulación realizada, sustentada en los datos recolectados y en referencias del enfoque de Ganadería de Precisión, evidenció que la implementación del modelo puede reducir hasta en un 50% el tiempo de recolección y la mano de obra requerida, así como disminuir en aproximadamente un 75% las pérdidas de producción, lo que se traduce en un incremento significativo en la productividad del sistema.

En términos de viabilidad, el modelo resulta técnicamente factible debido a la disponibilidad actual de tecnologías IoT y sistemas de visión artificial de bajo costo. Asimismo, es operativamente aplicable en sistemas de producción de pequeña y mediana escala, siempre que exista acceso a conectividad básica y disposición por parte del productor para adoptar herramientas tecnológicas.

No obstante, la implementación del modelo presenta algunas limitaciones, entre las que se destacan la necesidad de inversión inicial en equipos tecnológicos, posibles dificultades de conectividad en zonas rurales y la necesidad de capacitación para el uso y mantenimiento del sistema.

En conclusión, el modelo propuesto es viable bajo condiciones de acceso tecnológico básico y escala productiva adecuada, y representa una solución innovadora para la optimización de la producción avícola en sistemas de pastoreo, contribuyendo a la reducción de costos operativos, mejora de la eficiencia y fortalecimiento de la toma de decisiones basada en datos.

Referencias Bibliográficas

- Angarita Leiton, A. y Castrillón Zapata, F. (2020). *Producción agroecológica de gallinas criollas*. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.
- Certified Humane. (2014, 16 de enero). “Free Range” and “Pasture Raised” officially defined by HFAC for Certified Humane® label. Certified Humane.
<https://certifiedhumane.org/free-range-and-pasture-raised-officially-defined-by-hfac-for-certified-humane-label/>
- Chai, L., Dunkley, C., & Ritz, C. (2025). *Mislaid egg management in cage-free hen houses* (Circular 1254). University of Georgia Cooperative Extension.
https://fieldreport.caes.uga.edu/wp-content/uploads/2025/08/C-1254_1.pdf
- Compassion in Food Business. (2019). *Sistemas sin jaulas para gallinas ponedoras: Orientación adicional para los sistemas multinivel*. Compassion in World Farming.
- D.R. Korver (2023). “Review: *Current challenges in poultry nutrition, health, and welfare. Animal*”, Volume 17, Supplement 2,100755,
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100755>
- Environment Agency. (2010). *EPR 6.09 Sector Guidance Note: How to comply with your environmental permit for intensive farming*. Environment Agency.
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7c27c1ed915d0b036b5610/geho0110brsb-e-e.pdf>
- Estevinho, J. (2021). *Cage-free egg production and welfare implications*. Alltech Blog, Alltech.
<https://www.alltech.com/en-gb/blog/cage-free-egg-production-and-welfare-implications>

- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/3/i6583e.pdf>
- Federación Nacional de Avicultores de Colombia (FENAVI). (2024). *Estadísticas de producción nacional de huevo 2023–2024*. <https://fenavi.org>
- Hishaw, J. (2006). *Piling it on thick: An overview of Arkansas poultry litter regulation* (Agricultural Law Research Article). National Agricultural Law Center, University of Arkansas System Division of Agriculture. https://nationalaglawcenter.org/wp-content/uploads/assets/bibarticles/hishaw_piling.pdf
- Iowa Farm Bureau. (2023, 27 de febrero). *Cage-free practices pressure egg prices*. Iowa Farm Bureau. <https://www.iowafarmbureau.com/Article/Cagefree-practices-pressure-egg-prices>
- Jake Astill, Rozita A. Dara, Evan D.G. Fraser, Bruce Roberts, Shayan Sharif (2020). *Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things*. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 170, 105291, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105291>.
- L. Bécot, N. Bédère, A. Ferry, T. Burlot, P. Le Roy (2023). *Egg production in nests and nesting behaviour: genetic correlations with egg quality and BW for laying hens on the floor*. *Animal*, Volume 17, Issue 10, 100958, <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100958>
- Lane, E., Nuggehalli, J., Hartcher, K., & Sinclair, M. (2022). *Cage egg producers' perspectives on the adoption of cage-free systems in China, Japan, Indonesia, Malaysia, Philippines, and Thailand*. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1038362. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1038362>

- Lara A. van Veen, Anna C.M. van den Oever, Bas Kemp, Henry van den Brand (2023). *Perception of laying hen farmers, poultry veterinarians, and poultry experts regarding sensor-based continuous monitoring of laying hen health and welfare*. Poultry Science, Volume 102, Issue 5, 102581, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102581>
- Lusk, J. L., & Norwood, F. B. (2011). Animal welfare economics. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 33(4), 463–483. <https://doi.org/10.1093/aep/ppr036>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2025). *Influenza aviar*. Gobierno de España. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/sanidad-animal/enfermedades/influenza-aviar/influenza_aviar
- Nicol, C. J., & Davies, A. (2013). *Bienestar de las aves de corral en los países en desarrollo*. En Revisión del desarrollo avícola. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Disponible en <https://www.fao.org/4/i3531s/i3531s.pdf>
- Ochoa Moreno, D. A. (2015). *Anotaciones sobre un sistema de producción avícola en pastoreo*. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Centro de Publicaciones, 1–49
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/development/desa/pd/>
- Poletto, R. (2022, 23 de agosto). *Gallinas libres y gallinas enjauladas*. aviNews. <https://avinews.com/gallinas-libres-y-gallinas-enjauladas/>
- Poultry Plan. (2008). Software avícola para su empresa. Poultryplan <https://es.poultryplan.com/>

- Ramesh Bahadur Bist, Xiao Yang, Sachin Subedi, Lilong Chai, *Mislaying behavior detection in cage-free hens with deep learning technologies*, Poultry Science, (2023). Volume 102, Issue 7, 102729, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102729>
- Sachin Subedi, Ramesh Bist, Xiao Yang, Lilong Chai (2023). *Tracking floor eggs with machine vision in cage-free hen houses*. Poultry Science, Volume 102, Issue 6, 102637. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102637>.
- Scott, A. B., Toribio, J.-A., Singh, M., Groves, P., Barnes, B., Glass, K., Moloney, B., Black, A., & Hernandez-Jover, M. (2018). *Low pathogenic avian influenza exposure risk assessment in Australian commercial chicken farms*. Frontiers in Veterinary Science, 5, 68. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00068>
- T. Bas Rodenburg, Mona F. Giersberg, Paul Petersan, Sara Shields. *Freeing the hens: Workshop outcomes for applying ethology to the development of cage-free housing systems in the commercial egg industry*. Applied Animal Behaviour Science, Volume 251, 105629, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105629>
- Temple, D., van Niekerk, T., Weeks, C., & Manteca, X. (2017). *Guía de recomendaciones Hennovation sobre el picaje*. Proyecto Hennovation.
- Tesconi, T. (2024, 8 de mayo). *Weber Family Farms, a legacy of innovation and conservation to keep eggs rolling to market*. Sonoma County Farm Bureau. <https://sonomafb.org/weber-family-farms-a-legacy-of-innovation-and-conservation-to-keep-eggs-rolling-to-market/>
- Unerman, M. (2025, 7 de marzo). *Cage-Free Or Not Cage-Free: That Is The Question*. Faunalytics. <https://faunalytics.org/cage-free-or-not-cage-free-that-is-the-question/>
- Van Hertem, T., L. Rooijackers, D. Berckmans, A. Peña Fernández, T. Norton, D. Berckmans y E. Vranken. (2017). *La visualización adecuada de datos es clave para*

la aceptación de la ganadería de precisión. Computadora. Electrón. Agrícola. 38:1–10

Widmar, N., Bir, C., Wolf, C., Lai, J., & Liu, Y. (2020). *#Eggs: social and online media-derived perceptions of egg-laying hen housing*. Poultry Science, 99(11).

<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.011>

Xiao Yang, Ramesh Bist, Sachin Subedi, Zihao Wu, Tianming Liu, Lilong Chai (2023). *An automatic classifier for monitoring applied behaviors of cage-free laying hens with deep learning*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 123, Part

B, 106377, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106377>

Apéndices

Apéndice A

Encuesta 1: Identificación del Predio y Datos Generales

Indicador	Descripción de la Información Requerida
Ubicación	Municipio, Vereda.
Tipo de Explotación	Pregunta sobre el sistema principal de producción de gallinas ponedoras (Ej. Campo abierto, Pastoreo/Semiconfinamiento, Semi-intensivo).
Población de Aves	Número total de gallinas ponedoras en el lote.
Experiencia	Cantidad de años produciendo huevos en pastoreo.
Mano de Obra	Cuántas personas y cuántas horas al día/semana se dedican a las tareas diarias del gallinero.
Usa alguna Tecnología	Que tipo, que hace la tecnología

Apéndice B

Encuesta 2: Identificación y Evaluación de Labores Críticas (Tiempo y Esfuerzo)

Instrucción para el Avicultor: Calificar el Tiempo invertido y el Esfuerzo percibido en cada labor, utilizando una escala de 1 a 5, donde:

1 es "Muy bajo" (Poco tiempo / Poco esfuerzo)

5 es "Muy alto" (Máximo tiempo / Máximo esfuerzo)

(Mano de Obra)	Tiempo Invertido (1-5)	Esfuerzo Percibido (1- 5)	Observaciones/Tiempo estimado (horas/día)
1. Buscar y recoger los huevos (en nidos y bandas)			
2. Limpiar y clasificar los huevos (después de la recolección)			
3. Recolección de huevos extraviados en el piso (FELB)			
4. Limpieza y manejo de la cama del gallinero (Manejo de residuos y estiércol)			
5. Prácticas preventivas contra enfermedades			
6. Control y prevención del picaje de plumas			
7. Otras labores (Especifique cuál: ej. manejo de potreros, limpieza de bebederos, descarte de aves)			

Apéndice C

Encuesta Online. Resultados para Actividades Operativas de Sistema sin Jaulas

Capital Requirements

- Cage-free systems require at least 2 times the capital to conventional facilities
- Also must consider investment in new cage-free pullet houses for training purposes

Labor Demand

- Cage-free production houses require 2-3 times more labor than conventional facilities
- Cage-free facilities also require more specialized labor

Feed System

- Cage-free facilities require 2-3 lbs. more feed per 100 hens than conventional systems
- Slight differences in feeding schedules across systems

Disease Management and Animal Welfare

- Disease can be more common and widespread in cage-free systems due to the bird's increased contact with other birds and fecal matter
- Cage-free systems can require a more intense vaccine regime

Food Safety/Quality

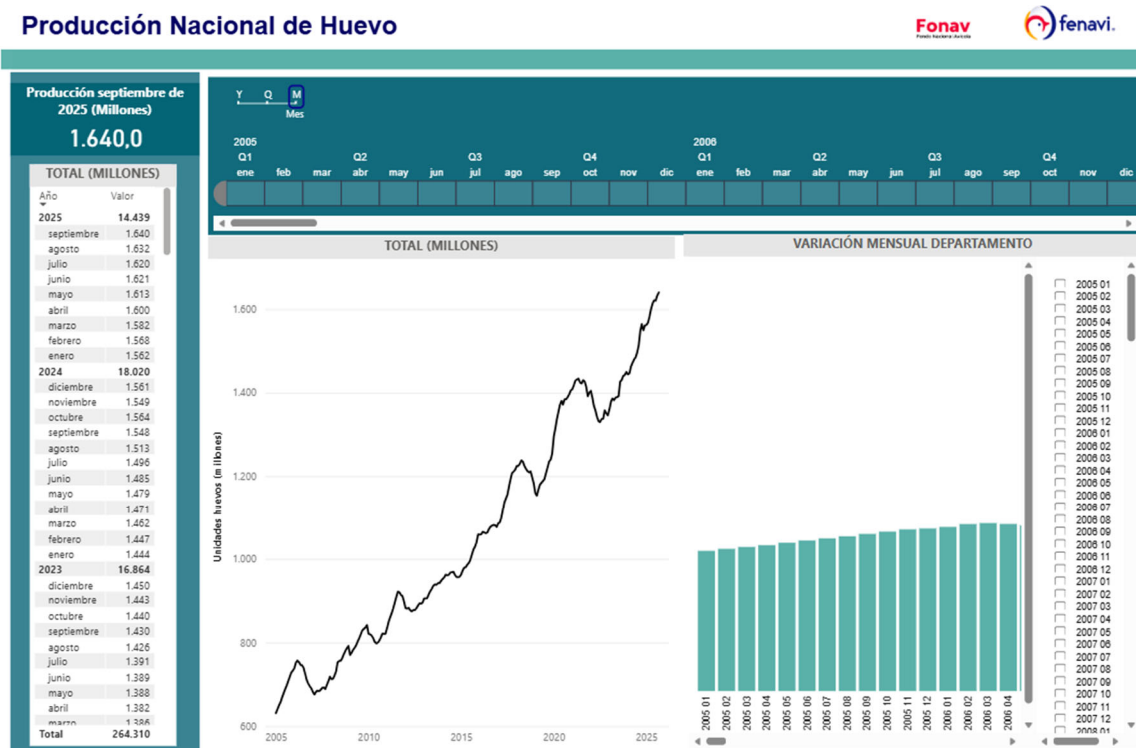
- Same level of food safety can be achieved, but the presence of floor eggs in cage-free systems is a potential food safety concern
- Cage-free facilities can have lower percentages of Grade A eggs due to manure stains and cracks in the shell

Fuente. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579123005771?via%3>

[Dihub](#)

Apéndice D

Producción Nacional de Huevo



Nota: Estadísticas de producción de huevos anual en Colombia.

Tomado de Fenavi-estadísticas. (2026). [Producción Huevos - FENAVI - Federación Nacional de Avicultores de Colombia](#)