

Control automatizado para aumentar la eficiencia en la crianza de pollos en la granja

Lauro Verde, San Vicente de Chucurí

Hugo Andres Torres Moncada

Asesor:

Edgardo Alexander Escorcía Mantilla

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Tecnología en Automatización Electrónica

2026

Tabla de Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 11 |
| Objetivos | 13 |
| Objetivo General | 13 |
| Objetivos Específicos | 13 |
| Planteamiento del Problema | 14 |
| Justificación | 16 |
| Marco Referencial | 18 |
| Marco Contextual | 18 |
| Automatización en la Crianza de Pollos: Control Ambiental, Alimentación y Monitoreo | 19 |
| Automatización Inteligente en la Crianza de Pollos | 22 |
| Control Automatizado para la Eficiencia Avícola | 25 |
| Metodología | 29 |
| Población y Muestra | 30 |
| Resultados | 31 |
| Objetivo 1: Clasificación de Especímenes | 31 |
| Fase 1: Recopilación de Datos | 32 |
| Registro Visual y Construcción del Banco de Imágenes | 33 |
| Fase 2: Preparación de Datos | 34 |
| Conversión a Formato COCO para Segmentación y Etiquetado | 36 |
| Segmentación de Contornos en Imágenes de Gallinas | 37 |
| Fase 3: Entrenamiento del Modelo | 40 |
| Estructuración y Segmentación de Datos en Formato COCO | 40 |

| | |
|--|----|
| Estructuración de Datos para Detección de Gallinas..... | 42 |
| Fase 4: Explicación Didáctica del Código | 43 |
| Objetivo 2: Control de Variables Ambientales..... | 48 |
| Variables Implícitas en el Sistema..... | 49 |
| Estados de Control y Actuación..... | 49 |
| Funcionamiento del Circuito Electrónico | 50 |
| Salidas de Información y Resultados..... | 51 |
| Relevancia para la Salud de las Aves | 53 |
| Conclusión | 53 |
| Objetivo 3: Sistema de Dosificación con Báscula para Bienestar Avícola | 54 |
| Variables Implícitas y Criterios de Diseño | 54 |
| Arquitectura y Funcionamiento del Circuito | 56 |
| Salidas del Sistema en la Ventana de Resultados | 57 |
| Consideraciones para Salud y Ambiente de las Aves..... | 58 |
| Objetivo 4: Sistema de Monitoreo Sanitario en Ambientes Avícolas | 59 |
| Variables Sanitarias en el Contexto Avícola | 60 |
| Funcionamiento del Circuito de Monitoreo..... | 61 |
| Resultados del Sistema en la Ventana Serial | 63 |
| Objetivo 5: Ahorro de Energía para Disminuir los Costos de y el Impacto Ambiental | 64 |
| Conclusiones..... | 67 |
| Conclusión Sobre la Clasificación y Conteo de Especímenes Mediante Visión Artificial | 67 |
| Control Automatizado de Variables Ambientales | 67 |
| Automatización en Alimentación y Suministro de Agua | 70 |

| | |
|---|----|
| Conclusión Sobre el Monitoreo Sanitario en Ambientes Avícolas | 70 |
| Implementación de Tecnología de Ahorro de Energía | 71 |
| Apéndices..... | 73 |
| Referencias..... | 81 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Aves de Corral en Interacción con el Entorno</i> | 34 |
| Figura 2 <i>Agrupación de Aves de Corral con Variabilidad de Posturas</i> | 34 |
| Figura 3 <i>Control Avícola Automatizado</i> | 37 |
| Figura 4 <i>Aves en Transición</i> | 37 |
| Figura 5 <i>Registro Visual de Gallinas en su Entorno Saliendo del Galpón</i> | 39 |
| Figura 6 <i>Segmentación de Contornos de Gallinas Mediante Visión Artificial</i> | 39 |
| Figura 7 <i>Código de la Segmentación y Etiquetado de una Imagen</i> | 43 |
| Figura 8 <i>Proceso de Anotación y Entrenamiento de Imágenes Para Redes Neuronales</i> | 46 |
| Figura 9 <i>Circuito Identificación y Control de Temperatura y Humedad</i> | 50 |
| Figura 10 <i>Esquema Conceptual del Sistema Control Ambiental</i> | 51 |
| Figura 11 <i>Diagrama Funcional del Sistema con Válvula Única Gobernada por Peso</i> | 56 |
| Figura 12 <i>Disposición Esquemática del Montaje</i> | 62 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Estructura de Datos en Formato JSON para Anotación de Imágenes</i> | 46 |
| Tabla 2 <i>Variables Ambientales Consideradas en el Sistema de Control</i> | 49 |
| Tabla 3 <i>Ejemplo de Salida Serial del Sistema de Monitoreo Ambiental</i> | 53 |
| Tabla 4 <i>Variables y Parámetros del Sistema de Control por Peso</i> | 55 |
| Tabla 5 <i>Mensajes de la Consola y su Significado Operativo</i> | 58 |
| Tabla 6 <i>Descripción de Variables de Control Sanitario del Galón</i> | 61 |
| Tabla 7 <i>Sistema Básico de Monitoreo Sanitario Avícola</i> | 63 |
| Tabla 8 <i>Estrategias de Ahorro Energético en un Galpón Automatizado.</i> | 65 |

Lista de Apéndices

| | |
|--|----|
| Apéndice A <i>Código para Variables Ambientales</i> | 73 |
|--|----|

Resumen

La automatización en la producción avícola ha transformado la gestión de granjas mediante la integración de tecnologías avanzadas que optimizan el monitoreo ambiental, la alimentación y el bienestar animal. La presente investigación propone la implementación de un sistema automatizado en la Granja Lauro Verde, ubicada en San Vicente de Chucurí, con el propósito de mejorar la eficiencia productiva, reducir costos operativos y fortalecer la sostenibilidad del modelo de crianza. El desarrollo del sistema considera la regulación automatizada de la temperatura, la humedad y la ventilación, junto con un control inteligente del suministro de alimento y agua. Se incorporan sensores de alta precisión y visión artificial para garantizar condiciones óptimas, minimizar el estrés de las aves y detectar anomalías en su comportamiento, lo que contribuye a la prevención de enfermedades y a la optimización de la conversión alimenticia.

Desde una perspectiva técnica, la implementación se basa en un conjunto de algoritmos de control y modelos de aprendizaje automático que permiten la toma de decisiones en tiempo real. La integración de redes neuronales y procesamiento de imágenes facilita el conteo de aves y la supervisión del entorno sin intervención manual constante. El sistema también busca mejorar la trazabilidad del proceso productivo a través de plataformas digitales, asegurando un uso eficiente de los recursos y una respuesta inmediata a variaciones ambientales. El enfoque adoptado permite avanzar hacia una producción avícola más eficiente, con una reducción significativa en el uso de insumos y una mejora en la calidad del producto final. Además, la incorporación de automatización inteligente sienta las bases para una transición progresiva hacia modelos de producción más sostenibles y adaptables a las exigencias del mercado y de las regulaciones en materia de bienestar animal y seguridad alimentaria.

Palabras claves: automatización avícola, monitoreo ambiental, control inteligente, visión artificial, bienestar animal.

Abstract

Automation in poultry production has transformed farm management through the integration of advanced technologies that optimize environmental monitoring, feeding, and animal welfare. This study proposes the implementation of an automated system at Lauro Verde Farm, located in San Vicente de Chucurí, with the aim of improving productive efficiency, reducing operating costs, and strengthening the sustainability of the farming model. The system's development includes the automated regulation of temperature, humidity, and ventilation, along with intelligent control of feed and water supply. High-precision sensors and artificial vision are incorporated to ensure optimal conditions, minimize bird stress, and detect anomalies in their behavior, contributing to disease prevention and improved feed conversion.

From a technical perspective, the implementation is based on a set of control algorithms and machine learning models that enable real-time decision-making. The integration of neural networks and image processing facilitates bird counting and environmental supervision without constant manual intervention. The system also seeks to enhance traceability in the production process through digital platforms, ensuring efficient resource use and immediate responses to environmental variations. This approach supports progress toward more efficient poultry production, with a significant reduction in input use and an improvement in the quality of the final product. Furthermore, the incorporation of intelligent automation lays the groundwork for a gradual transition toward more sustainable production models that can adapt to market demands and regulations related to animal welfare and food safety.

Keywords: poultry automation, environmental monitoring, intelligent control, machine vision, animal welfare.

Introducción

La automatización en la producción avícola ha experimentado una transformación sustancial, impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia operativa, garantizar condiciones óptimas para el crecimiento de las aves y reducir la dependencia de la intervención humana. Con la implementación de tecnologías avanzadas, el sector ha evolucionado hacia un modelo más preciso en la regulación de los factores ambientales, el monitoreo de la salud animal y la optimización del suministro de alimento y agua. Este cambio responde a las exigencias del mercado y a la creciente preocupación por la sostenibilidad y el bienestar animal en sistemas de producción intensiva. El desarrollo de galpones inteligentes ha permitido superar muchas de las limitaciones de los métodos tradicionales de crianza, que requieren una supervisión constante y están sujetos a variaciones ambientales difíciles de controlar de manera manual. A través de sensores de alta precisión, sistemas de visión artificial y algoritmos de inteligencia artificial, es posible mantener parámetros ambientales estables, reduciendo el estrés en las aves y mejorando su rendimiento productivo. La regulación automatizada de la temperatura, la humedad y la ventilación permite una crianza más eficiente y adaptable a las condiciones cambiantes del entorno, lo que se traduce en una menor mortalidad y un crecimiento uniforme del lote avícola.

El incremento de la producción y la competitividad del sector avícola ha estado ligado a la incorporación de herramientas que permiten una administración estratégica de los recursos. La automatización en la distribución de alimento y agua no solo evita el desperdicio, sino que también garantiza una alimentación equilibrada para todas las aves, favoreciendo su desarrollo homogéneo. Asimismo, la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real, mediante cámaras y análisis de datos, posibilita la detección temprana de anomalías en el comportamiento de los animales, previniendo enfermedades y reduciendo la necesidad de tratamientos

correctivos.

Ahora bien, en el contexto de la investigación sobre la modernización del sector avícola, este estudio se enfoca en la aplicación de estrategias tecnológicas en la Granja Lauro Verde, ubicada en San Vicente de Chucurí. La iniciativa busca evaluar el impacto de la automatización en la eficiencia del proceso productivo y en la sostenibilidad del modelo de crianza. Para ello, se plantea la instalación de un sistema de monitoreo que regule de manera automática las condiciones del ambiente, optimice la administración de insumos y garantice un seguimiento continuo del estado de las aves.

El avance en la automatización avícola no solo responde a la necesidad de incrementar la productividad, sino también a la importancia de establecer prácticas más sostenibles que minimicen el impacto ambiental. La optimización del consumo energético, la reducción en la generación de residuos y la mejora en la conversión alimenticia son aspectos clave que se potencian con la incorporación de estas herramientas. Además, la digitalización de los procesos en los galpones permite la toma de decisiones basada en datos en tiempo real, lo que facilita la implementación de estrategias preventivas y correctivas con mayor precisión, la automatización en la avicultura, proporcionando un análisis detallado sobre los beneficios y desafíos de la digitalización en la crianza de pollos. La aplicación de tecnologías innovadoras abre la puerta a un modelo de producción más eficiente y adaptable a las condiciones del mercado, garantizando una mejora continua en la calidad de los procesos y en el bienestar de los animales.

Objetivos

Objetivo General

El objetivo general de la automatización de un galpón de pollos es mejorar la eficiencia, la productividad y el bienestar de los pollos mediante la implementación de sistemas tecnológicos y automatizados en todas las etapas del proceso de cría.

Objetivos Específicos

Utilizar técnicas de robótica para el manejo y clasificación de pollos, reduciendo la intervención manual y mejorando la eficiencia.

Monitorear y controlar de forma automatizada los factores ambientales como temperatura, humedad y ventilación para mantener condiciones óptimas para el crecimiento de los pollos.

Implementar sistemas automáticos de alimentación y suministro de agua para asegurar un suministro constante y adecuado.

Establecer sistemas de monitoreo y detección temprana de enfermedades para prevenir brotes y garantizar la salud de las aves.

Implementar tecnología de ahorro de energía para disminuir los costos de producción y el impacto ambiental.

Planteamiento del Problema

A nivel global, la crianza de pollos tiene una trayectoria que se remonta a más de 8,000 años en Asia, donde las aves eran criadas principalmente para el consumo de carne y huevos. No obstante, el modelo actual de crianza en galpones es un desarrollo relativamente reciente en comparación con esas prácticas tradicionales. Durante el siglo XX, la Revolución Agrícola y los avances tecnológicos, particularmente tras la Segunda Guerra Mundial, impulsaron mejoras significativas en la tecnología agrícola y ganadera.

La crianza de pollos en galpones ganó popularidad debido a la necesidad de incrementar la producción de alimentos y optimizar la eficiencia. Entre las técnicas empleadas se incluyeron el control de temperatura, la ventilación y la automatización en la alimentación y manejo de desechos. En las décadas de 1950 y 1960, esta modalidad se industrializó rápidamente en países desarrollados. El modelo de "producción intensiva" permitió una mayor concentración de aves en espacios reducidos, incrementando la producción de carne y huevos, pero también generando inquietudes en relación con el bienestar animal y el impacto ambiental. A finales del siglo XX y principios del XXI, se profundizaron las preocupaciones sobre el bienestar animal, la sostenibilidad y las repercusiones ambientales, lo que impulsó un cambio hacia prácticas más sostenibles, como la producción sin jaulas y sistemas de crianza más amigables con el entorno (Lorencena y otros, 2020)

En efecto, en América Latina, la producción avícola en galpones experimentó una notable expansión a partir de la segunda mitad del siglo XX, siguiendo el modelo de los países desarrollados. La incorporación de tecnologías y prácticas modernas facilitó el incremento de la eficiencia en este sector. Durante las décadas de 1980 y 1990, diversos países de la región adoptaron sistemas de producción intensiva, destacándose Brasil y México como líderes debido a

sus significativas inversiones en infraestructura y tecnología. Sin embargo, el rápido crecimiento y la falta de regulación en algunas zonas generaron desafíos como la contaminación ambiental, la gestión inadecuada de residuos y preocupaciones en torno al bienestar animal, particularmente en áreas con limitados recursos para implementar prácticas más sostenibles (Enriko & Putra, 2021).

De forma análoga, en Colombia, la crianza de pollos en galpones experimentó un desarrollo significativo durante las décadas de 1970 y 1980, con la incorporación de tecnologías modernas y la expansión de la industria avícola, lo que permitió al país posicionarse como uno de los principales productores de pollo en América Latina. A medida que la industria avícola se expandió, se implementaron prácticas de producción intensiva para mejorar la eficiencia y satisfacer la creciente demanda. La introducción de sistemas de control ambiental, la automatización en la alimentación y la gestión de excrementos fueron elementos clave en este proceso. Con el tiempo, surgieron inquietudes en torno al impacto ambiental de la producción intensiva y al bienestar animal, lo que impulsó la adopción de prácticas más sostenibles y la regulación del sector (Huanhong y otros, 2023).

En la última década, se ha observado un enfoque creciente en la mejora de las prácticas de crianza en Colombia. Esto ha incluido la implementación de normativas más estrictas para el bienestar animal, la reducción en el uso de antibióticos y la optimización de las condiciones ambientales. Algunos países han comenzado a adoptar enfoques más sostenibles y éticos en respuesta a la presión tanto de los consumidores como de organizaciones no gubernamentales (Chivarov y otros, 2023).

Justificación

La implementación de sistemas de control automatizado en la crianza de pollos representa una inversión estratégica para la disminuir los costos operativos y aumento de la productividad. A continuación, se especifican las razones que justifican la automatización del galpón:

En principio, La automatización en la industria avícola contribuye significativamente al bienestar animal al permitir un control preciso de las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, creando un entorno más favorable para las aves. Este control eficiente no solo mejora su bienestar, sino que también reduce la mortalidad al optimizar las condiciones de salud, minimizando riesgos. Además, se observa un incremento en la producción, ya sea de huevos o carne, gracias a la optimización en el suministro de alimentos, agua y luz. Los costos operativos se reducen al disminuir la necesidad de mano de obra, mejorar el uso de recursos y reducir el consumo energético. Otro aspecto clave es el cumplimiento de las normativas de bienestar animal y seguridad alimentaria, el cual se facilita mediante la automatización. Finalmente, la automatización garantiza un control más preciso de las condiciones productivas, lo que se traduce en una mejora de la calidad de los productos avícolas (Neethirajan, 2021).

Así mismo, la automatización de los galpones avícolas tiene como principal objetivo mejorar las condiciones del ambiente en el que se crían las aves, permitiendo un control preciso de variables como la temperatura y la humedad, lo que garantiza un entorno adecuado para su desarrollo. Esto se traduce en un impacto positivo en el bienestar animal, ya que las condiciones óptimas minimizan el riesgo de enfermedades y estrés (Islam y otros, 2019). Además, la implementación de tecnologías automatizadas es un factor determinante para mantener la competitividad en el mercado avícola, permitiendo a los productores ajustarse a las exigencias

del sector y aumentar su capacidad productiva. En términos de sostenibilidad, estas innovaciones tecnológicas permiten una producción más eficiente y con menor impacto ambiental, al optimizar el uso de recursos y reducir desperdicios. Por último, la automatización también abre las puertas a la incorporación de tecnologías emergentes que mejoran los procesos productivos, fomentando la innovación en el sector avícola y garantizando su desarrollo a largo plazo.

Marco Referencial

Marco Contextual

La automatización ha revolucionado la gestión de los procesos productivos al permitir su control y monitoreo sin intervención humana constante, lo que conlleva una optimización en la administración de los recursos. Particularmente, la investigación de Chala (2024) evidenció mejoras significativas en las condiciones ambientales de animales alimentados mediante sistemas automatizados, subrayando la importancia de estas tecnologías en la producción avícola.

Los sistemas de regulación automática desempeñan un papel determinante en la supervisión de variables esenciales como la ventilación y la humedad, factores imprescindibles para preservar el bienestar de las aves y optimizar su rendimiento productivo. Estos mecanismos incorporan sensores capaces de monitorear en tiempo real el acceso al agua y al alimento, así como las condiciones climáticas internas del galpón, lo que posibilita una respuesta inmediata y precisa ante cualquier fluctuación ambiental (Islam y otros, 2019) . La reducción en la dependencia de la mano de obra no solo minimiza el margen de error humano, sino que también contribuye a la creación de un entorno más estable y predecible dentro del sistema productivo (Lorencena y otros, 2020)

A la par de estos dispositivos, los algoritmos de control cumplen una función esencial en la automatización al procesar la información captada por los sensores y ajustar dinámicamente los sistemas de regulación, garantizando así condiciones óptimas para el desarrollo de las aves (Chivarov y otros, 2023) .La integración de estrategias avanzadas de monitoreo remoto y sistemas ciberfísicos ha facilitado la supervisión constante sin intervención directa, lo que no solo disminuye la posibilidad de fallas, sino que también incrementa la eficiencia general del proceso (Neethirajan, 2021)

Además, la automatización se vincula estrechamente con la sostenibilidad, ya que posibilita un uso más racional de los recursos energéticos y contribuye a la reducción de emisiones contaminantes, entre ellas el amoníaco generado en la producción avícola (Andrés, 2021). La incorporación de sensores de gases y sistemas de ventilación optimizados permite mejorar la calidad del aire en el interior del galpón, disminuyendo los riesgos tanto para las aves como para el entorno (Thoma y otros, 2020)

En este contexto, la implementación de un sistema automatizado eficiente se sustenta en la sinergia entre sensores de alta precisión, algoritmos de control adaptativo y plataformas de monitoreo avanzado. Esta combinación tecnológica no solo favorece un manejo más dinámico y eficiente del galpón, sino que también impacta positivamente en la rentabilidad y sostenibilidad del sector avícola (Alpizar, 2021)

Automatización en la Crianza de Pollos: Control Ambiental, Alimentación y Monitoreo

El monitoreo automatizado en la crianza de pollos representa una evolución tecnológica significativa en la producción avícola. La implementación de sistemas de visión artificial y sensores inteligentes permite un seguimiento preciso del comportamiento de las aves, facilitando la detección de anomalías en sus movimientos, patrones de alimentación y niveles de actividad. Según Chinaeke-Ogbuka et al. (2021), estos sistemas replican las funciones de un cuidador, ajustando automáticamente la cantidad de alimento y agua en función de la demanda registrada. Al integrar inteligencia artificial, es posible interpretar señales indicativas de estrés o enfermedades, lo que optimiza la respuesta ante posibles problemas de salud y bienestar animal. Este tipo de monitoreo continuo favorece un entorno productivo estable y reduce la necesidad de intervención humana directa.

La regulación automatizada de las condiciones ambientales en los galpones es un factor

determinante para garantizar el crecimiento saludable de las aves. Factores como temperatura, humedad y presión del aire deben mantenerse en niveles óptimos para evitar afecciones respiratorias y estrés térmico. En este sentido, Efendiev, Shuganov y Kantiev (2024) señalan que la automatización en la avicultura permite la gestión remota de variables ambientales mediante sensores que envían información en tiempo real a sistemas de control inteligente. Estos dispositivos, al detectar variaciones en el entorno, activan mecanismos de ventilación, calefacción o nebulización, asegurando condiciones estables dentro del galpón. La regulación eficiente del clima interno no solo mejora la conversión alimenticia, sino que también previene la propagación de enfermedades relacionadas con la acumulación de humedad y gases nocivos.

El suministro automatizado de alimento y agua es otro componente esencial en la modernización de la industria avícola. La distribución precisa de estos recursos evita desperdicios y asegura una nutrición equilibrada para todas las aves. Según el estudio de Edwan et al. (2020), los sistemas automatizados utilizan sensores de nivel que activan dispensadores solo cuando los comederos y bebederos alcanzan niveles críticos. Esta tecnología permite una dosificación ajustada a las necesidades fisiológicas de las aves, lo que mejora su desarrollo y reduce costos operativos. Además, al minimizar la manipulación humana, se disminuye el riesgo de contaminación cruzada y se promueve un ambiente más higiénico dentro de las instalaciones.

El control de alimentación puede complementarse con algoritmos predictivos que analizan patrones de consumo y ajustan la ración de manera dinámica. Como explican Castillo-Quiroz et al (Castillo-Quiroz y otros, 2019), la regulación automatizada del suministro de alimento permite adaptar la dieta en función del crecimiento y requerimientos metabólicos de los pollos. Esto no solo optimiza el aprovechamiento de los nutrientes, sino que también reduce la competencia entre individuos, asegurando una distribución equitativa. La integración de estas

herramientas con plataformas digitales facilita la supervisión en tiempo real y la generación de reportes sobre el rendimiento de la parvada, mejorando la toma de decisiones en la gestión avícola.

El mantenimiento de un microclima adecuado dentro de los galpones es fundamental para la salud y productividad de las aves. La automatización del sistema de ventilación y climatización permite responder rápidamente a fluctuaciones ambientales, evitando cambios bruscos de temperatura que podrían afectar el bienestar de los pollos. Según el análisis de Castillo-Quiroz et al (Castillo-Quiroz y otros, 2019) , un sistema automático de climatización ajusta la velocidad de los ventiladores y la apertura de cortinas en función de sensores térmicos y de humedad, garantizando un ambiente estable en todas las fases de crecimiento. Este tipo de regulación también ayuda a mitigar el impacto de olas de calor, reduciendo el estrés calórico y mejorando la conversión alimenticia.

El uso de tecnologías inteligentes en la crianza de pollos no solo optimiza el bienestar de las aves, sino que también incrementa la eficiencia operativa de las granjas. La implementación de sistemas de monitoreo y control reduce la dependencia de la mano de obra, disminuyendo costos laborales y mejorando la rentabilidad del negocio avícola. Según el estudio de Efendiev et al. (2024) la automatización de procesos en la industria avícola permite un ahorro de hasta un 20 % en costos de alimentación y un 25 % en el consumo de agua y electricidad. Estos beneficios hacen que la modernización tecnológica sea una inversión estratégica para productores que buscan mejorar la competitividad y sostenibilidad de sus operaciones.

La recopilación de datos en tiempo real a través de sensores conectados a plataformas de gestión digital facilita la identificación de tendencias y la toma de decisiones informadas. Como menciona Chinaeke-Ogbuka et al. (2021), la integración de sistemas de automatización con

inteligencia artificial permite prever posibles problemas de salud, ajustar la programación de alimentación y optimizar el control del ambiente en los galpones. Esta capacidad de adaptación convierte la producción avícola en un sistema más eficiente y resiliente, en el cual los recursos son administrados de manera estratégica para garantizar el máximo rendimiento en cada ciclo productivo.

Automatización Inteligente en la Crianza de Pollos

La visión artificial ha revolucionado múltiples sectores mediante la automatización de tareas que anteriormente requerían supervisión humana. En el ámbito de la producción avícola, su implementación permite la optimización de procesos mediante el análisis de imágenes en tiempo real, lo que facilita la identificación de comportamientos, el monitoreo del estado de salud y la evaluación del crecimiento de los pollos. Esta tecnología emplea algoritmos de aprendizaje automático para interpretar patrones visuales capturados por cámaras estratégicamente ubicadas, lo que posibilita detectar signos de enfermedades, evaluar la distribución de los animales dentro del galpón y ajustar parámetros ambientales para mejorar su bienestar. De acuerdo con Antequera (2020) los sistemas de visión computarizada no solo incrementan la precisión en la interpretación de imágenes, sino que también fortalecen la confiabilidad de las decisiones automatizadas en distintos entornos de aplicación.

El protocolo COCO (Common Objects in Context) constituye una referencia fundamental en el entrenamiento de modelos de visión artificial orientados a la detección y segmentación de objetos. Su estructura de datos, compuesta por más de 330.000 imágenes con anotaciones detalladas, facilita la evaluación comparativa de distintos algoritmos mediante métricas estandarizadas como la precisión media promedio (mAP). En el contexto avícola, este protocolo se emplea para entrenar redes neuronales capaces de identificar características específicas de los

pollos, como su tamaño, postura o actividad, permitiendo así una evaluación detallada de su comportamiento. Smith y Farinha (2023) destacan que la fiabilidad de los modelos entrenados con COCO radica en la diversidad de las categorías incluidas en su base de datos, lo que reduce sesgos y mejora la generalización de los algoritmos cuando se aplican a entornos reales.

El aprovechamiento de modelos preentrenados en COCO en la industria avícola posibilita la automatización de procesos de detección de anomalías en la crianza de pollos. Estos modelos pueden diferenciar entre comportamientos normales y signos de estrés o enfermedad, lo que permite una intervención temprana por parte de los productores. La segmentación de imágenes, una de las funciones clave de este protocolo, permite delimitar con precisión las áreas en las que se encuentran los animales dentro de un espacio determinado, facilitando la identificación de patrones inusuales en su distribución. Además, el uso de este estándar en combinación con técnicas de deep learning permite optimizar el rendimiento de los sistemas de monitoreo, reduciendo la necesidad de supervisión manual y mejorando la eficiencia operativa.

Junto con la visión artificial, la lógica difusa se erige como un enfoque esencial en la toma de decisiones dentro de sistemas automatizados aplicados a la producción avícola. A diferencia de los modelos tradicionales de procesamiento de información, los cuales dependen de reglas estrictas y valores binarios, este método permite evaluar condiciones con grados de pertenencia, proporcionando una mayor flexibilidad en la interpretación de datos. Este tipo de razonamiento resulta particularmente útil en la crianza de pollos, donde factores como temperatura, humedad, nivel de actividad y consumo de alimento presentan variaciones constantes. La combinación de lógica difusa y visión computarizada permite ajustar dinámicamente las condiciones del ambiente en función de parámetros graduales, mejorando así el bienestar de las aves sin necesidad de intervención humana directa (Chivarov y otros, 2023).

La integración de estas tecnologías posibilita la creación de sistemas de monitoreo inteligente que no solo identifican eventos anómalos, sino que también optimizan la respuesta ante ellos. Por ejemplo, un sistema basado en visión artificial y lógica difusa puede detectar una distribución irregular de los pollos dentro de un galpón y, en función de los parámetros ambientales, determinar si la causa radica en una temperatura inadecuada, falta de ventilación o presencia de estrés en los animales. Con esta información, el sistema puede activar mecanismos de ajuste, como la regulación de la ventilación o la modificación de los ciclos de iluminación, sin necesidad de intervención manual. La adaptabilidad de estos sistemas incrementa la eficiencia operativa y mejora las condiciones de cría, minimizando pérdidas y garantizando una producción más estable.

En términos de desarrollo tecnológico, la implementación de visión artificial con modelos basados en COCO y lógica difusa requiere un enfoque multidisciplinario que abarque el diseño de redes neuronales convolucionales, la calibración de sensores y la optimización de algoritmos de clasificación. La robustez de estos sistemas radica en su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real, extrayendo información relevante para la toma de decisiones. Además, la implementación de técnicas de interpretación en modelos de visión artificial, como las explicaciones generadas mediante mapas de calor y análisis de características relevantes, permite aumentar la transparencia de las decisiones automatizadas, fortaleciendo la confianza en estos sistemas. Según Forero-Torres (2024), la capacidad de los algoritmos para adaptar su desempeño a distintos escenarios mediante el uso de datos en tiempo real representa una ventaja clave en la evolución de los sistemas de inteligencia artificial aplicados a la industria.

El desarrollo de estrategias automatizadas para la gestión avícola no solo incrementa la eficiencia en la producción, sino que también mejora la sostenibilidad del sector mediante la

reducción de desperdicios y el uso más eficiente de los recursos. La integración de visión artificial, protocolo COCO y lógica difusa en la crianza de pollos ofrece un modelo de monitoreo avanzado que permite optimizar la salud de los animales, reducir costos operativos y mejorar la rentabilidad de las granjas. La combinación de estas herramientas proporciona una solución tecnológica de vanguardia que permite una supervisión detallada y precisa de cada fase del proceso productivo, asegurando un control continuo y adaptable a las condiciones específicas de cada sistema de cría.

Control Automatizado para la Eficiencia Avícola

El desarrollo tecnológico en la producción avícola ha generado un impacto significativo en la eficiencia operativa, permitiendo reducir costos y garantizar el bienestar de las aves. La implementación de sistemas automatizados basados en sensores, microcontroladores e inteligencia artificial ha transformado la gestión tradicional de las granjas, ofreciendo un control detallado sobre variables ambientales y procesos clave. Lorencena et al. (2020) destacan que la supervisión de la temperatura y la humedad dentro de los galpones es fundamental para evitar estrés térmico y optimizar la conversión alimenticia de los pollos. Sensores avanzados permiten un monitoreo en tiempo real y activan mecanismos de ventilación o calefacción cuando se detectan desviaciones en los parámetros establecidos. Asimismo, el control de la calidad del aire mediante sensores de gases como el amoníaco contribuye a la reducción de enfermedades respiratorias, favoreciendo un ambiente más saludable para el crecimiento de las aves.

La alimentación automatizada ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia en la crianza de pollos. Natho et al. (2023) explican que los sistemas de distribución de alimento basados en motores eléctricos y bandas transportadoras garantizan un suministro preciso y programado, reduciendo el desperdicio y optimizando el consumo de nutrientes. De

manera complementaria, los bebederos automatizados integran sensores de nivel de agua que activan bombas cuando se detecta una reducción en la cantidad disponible, asegurando una hidratación constante y evitando la contaminación del suministro. Este tipo de mecanismos, además de disminuir la intervención manual, permiten una gestión más eficiente del recurso hídrico, lo que se traduce en un impacto positivo en la sostenibilidad de la producción avícola.

En relación con la recolección de huevos y la limpieza de los galpones, los avances en automatización han permitido optimizar estas tareas, reduciendo la carga laboral y mejorando las condiciones sanitarias. Thomas et al. (2020) exponen que la utilización de bandas transportadoras facilita el traslado de los huevos hacia áreas de almacenamiento sin manipulación directa, disminuyendo la probabilidad de fracturas y contaminación. Por otro lado, los sistemas de limpieza automatizados utilizan mecanismos de raspado y succión para retirar de manera periódica los residuos orgánicos, lo que contribuye a la prevención de enfermedades y a la disminución de emisiones de gases nocivos en el ambiente. Estas innovaciones han redefinido los estándares de higiene en la producción avícola, permitiendo reducir la incidencia de patógenos sin afectar la eficiencia del sistema productivo.

El monitoreo remoto de las condiciones dentro de las granjas ha revolucionado la toma de decisiones en la producción avícola, proporcionando datos en tiempo real sobre parámetros ambientales y operativos. Islam et al. (2019) explican que la integración de plataformas digitales permite a los productores visualizar la información recolectada por sensores desde cualquier dispositivo conectado a internet, lo que posibilita realizar ajustes en los sistemas de alimentación, ventilación y temperatura sin necesidad de estar físicamente en la instalación. La incorporación de algoritmos de predicción en estos sistemas contribuye a la optimización del uso de recursos y minimiza el impacto de factores externos sobre la productividad. Gracias a estos avances, la

supervisión de las granjas avícolas ha pasado de ser un proceso manual e impreciso para convertirse en un modelo de gestión basado en datos cuantificables y ajustables en tiempo real.

La eficiencia energética en la producción de pollos de engorde es un aspecto clave para la reducción de costos y el desarrollo sostenible del sector. Landge et al. (2024) indican que la integración de fuentes de energía renovable, como paneles solares, en sistemas automatizados de ventilación, iluminación y calefacción, ha demostrado ser una estrategia viable para minimizar el consumo eléctrico.

Adicionalmente, el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de biodigestores permite la generación de biogás, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y promoviendo la autosuficiencia energética en las granjas. Estas soluciones tecnológicas no solo disminuyen el impacto ambiental de la producción avícola, sino que también mejoran la rentabilidad al reducir el gasto en insumos energéticos, convirtiéndose en un modelo eficiente y sostenible.

El uso de tecnologías automatizadas en la crianza de pollos representa una transformación significativa en la forma en que se gestionan los procesos productivos, permitiendo optimizar cada fase del ciclo de vida de las aves. Huanhong et al. (2023) señalan que la implementación de estrategias basadas en automatización no solo mejora la productividad y el bienestar animal, sino que también establece nuevos estándares en la sostenibilidad del sector avícola. La combinación de sensores, inteligencia artificial y conectividad remota ha redefinido los sistemas de producción, proporcionando un control preciso sobre las variables críticas y garantizando una operación eficiente.

A medida que estas innovaciones continúan evolucionando, se espera que la automatización juegue un papel cada vez más relevante en la optimización de los sistemas

avícolas, consolidando un modelo de producción moderno, rentable y ambientalmente responsable.

Metodología

Esta investigación se llevará a cabo mediante un enfoque aplicado, centrado en la implementación de un sistema automatizado en la crianza de pollos en la Granja Lauro Verde, San Vicente de Chucurí.

El proceso se desarrollará en etapas consecutivas, detalladas a continuación, y se considerarán tanto la población de aves como las condiciones ambientales del galpón para asegurar resultados precisos.

Las etapas del procedimiento serán las siguientes:

Se iniciará con la recolección de datos preliminares un análisis de las condiciones actuales del galpón, incluyendo el espacio, el número de aves y las condiciones ambientales. Esta etapa permitirá identificar los componentes a automatizar.

Acto seguido, se llevará a cabo la planificación detallada del sistema, seleccionando los equipos adecuados para la automatización de procesos como la alimentación, el control de temperatura y la ventilación.

Una vez seleccionados los proveedores de equipos, se procederá a la instalación de los dispositivos, garantizando su correcta configuración para operar de manera sincronizada con las necesidades del galpón.

Se realizarán pruebas preliminares para verificar el funcionamiento de los sistemas.

Se ajustarán los parámetros en caso de ser necesario para optimizar el rendimiento. Por último, Se implementará un sistema de monitoreo continuo que permita observar el rendimiento de los equipos y las condiciones ambientales.

Además, se establecerá un plan de mantenimiento regular para prevenir posibles fallos.

Población y Muestra

La población objetivo son los pollos alojados en el galpón, mientras que la muestra incluirá aquellos grupos que presenten condiciones de crecimiento óptimas para analizar el impacto directo de la automatización en su desarrollo.

Resultados

Objetivo 1: Clasificación de Especímenes

El desarrollo de un sistema de visión artificial para el conteo de gallinas en un galpón requiere la construcción de un banco de imágenes representativo del entorno. Para ello, se recopilaron registros visuales provenientes de cámaras de vigilancia y fotografías individuales de los animales, con el propósito de proporcionar a la red neuronal un conjunto de referencias diverso y realista. Cada imagen se sometió a un tratamiento específico que incluyó la delineación de contornos, un procedimiento que resalta los límites de cada ejemplar y facilita su identificación dentro de la escena. La repetición de este proceso sobre múltiples registros permitió que el sistema reconociera patrones visuales esenciales, tales como la forma anatómica, la distribución del plumaje y las variaciones posturales.

A medida que se incrementó la cantidad de datos etiquetados, la red neuronal refinó su capacidad de segmentación, diferenciando con mayor precisión a las aves de otros elementos presentes en el espacio, como comederos, sombras o estructuras del galpón. La exposición continua a imágenes procesadas fortaleció la capacidad del modelo para interpretar el entorno con mayor fidelidad, permitiéndole identificar gallinas en distintas condiciones de iluminación, ángulos y niveles de superposición. Esta fase de entrenamiento fue determinante para garantizar que el sistema no solo identificara correctamente a los animales en situaciones ideales, sino que también lograra reconocerlos cuando estuvieran parcialmente ocultos o en movimiento. A través de sucesivos ajustes en los parámetros de detección, la red neuronal alcanzó un nivel de precisión que optimiza el conteo automático en tiempo real, reduciendo errores y mejorando la eficiencia del monitoreo en instalaciones avícolas.

Fase 1: Recopilación de Datos

El proceso de obtención de imágenes se llevó a cabo directamente en el galpón, donde se capturaron registros visuales mediante una cámara fotográfica. Las imágenes se tomaron manualmente desde distintos ángulos y perspectivas, asegurando una representación variada del entorno. Para ello, se incluyeron diversos elementos en la escena, tales como estructuras del recinto, comederos y objetos cotidianos presentes en el espacio, con el fin de enriquecer la diversidad del conjunto de datos y mejorar la capacidad del sistema para distinguir las gallinas de otros elementos. Durante la toma de imágenes, se buscó captar a los animales en diferentes posturas y estados de movimiento, incluyendo instancias en las que se encontraban solas o agrupadas, en reposo o en desplazamiento, y en condiciones lumínicas variables. Además, se registraron situaciones donde algunas aves estaban parcialmente ocultas detrás de objetos o entre otras gallinas, permitiendo que el modelo aprendiera a reconocerlas incluso en escenarios de superposición visual.

El propietario del galpón participó en el proceso, lo que permitió obtener una representación del contexto habitual de las aves. Su presencia y la manipulación de algunos elementos dentro del espacio contribuyeron a generar escenarios dinámicos, aportando variedad a las condiciones capturadas en las imágenes.

Las fotografías recolectadas constituyeron la materia prima para la construcción del banco de imágenes que serviría de base para el entrenamiento del modelo de visión artificial. La inclusión de múltiples variables ambientales y posturales fortaleció la calidad del conjunto de datos, aumentando la capacidad del sistema para reconocer con precisión a las gallinas en distintas circunstancias.

Registro Visual y Construcción del Banco de Imágenes. El proceso de captura de imágenes permitió reunir un conjunto diverso de registros visuales que reflejan la dinámica del galpón. La recolección manual de las fotografías abarcó distintos ángulos y condiciones de iluminación, asegurando la representación de escenarios reales en los que el modelo de visión artificial deberá operar. La inclusión de elementos del entorno, como comederos, bebederos y estructuras del recinto, amplió la riqueza del banco de imágenes, permitiendo que la red neuronal aprenda a diferenciar a las gallinas de otros objetos presentes en su hábitat.

Como parte del proceso de documentación visual, en la Figura 1, se observa una vista aérea de dos gallinas situadas junto a recipientes de agua. La imagen ilustra la interacción de los animales con su entorno inmediato, donde las sombras, la textura del suelo y la disposición de los objetos introducen variaciones en el contraste y la percepción de los bordes. Estas características resultan esenciales para entrenar el modelo en la identificación de contornos precisos, evitando confusiones con elementos cercanos. Además, la posición de las aves, captadas desde un plano cenital, permite evaluar la capacidad del sistema para reconocerlas en situaciones donde la perspectiva afecta la visibilidad de rasgos anatómicos específicos.

En función del entorno, en la Figura 2, se muestra una perspectiva superior de un grupo de gallinas ubicadas sobre una superficie pavimentada. La imagen incorpora un escenario con mayor complejidad visual debido a la superposición de los ejemplares y la presencia de patrones de plumaje con distintos tonos y texturas. Estas variaciones son determinantes en la segmentación, ya que el modelo debe ser capaz de identificar correctamente a cada individuo, incluso cuando parte de su silueta se encuentra parcialmente oculta o en contacto con otras aves. La disposición de los animales en la escena aporta referencias clave para el entrenamiento de la red neuronal en el reconocimiento de múltiples objetos dentro de un mismo encuadre, constituye

la base de datos utilizada para fortalecer la precisión del modelo en la detección automática de gallinas. La diversidad de escenarios capturados contribuye a que la red neuronal desarrolle una mayor adaptabilidad frente a distintas condiciones del entorno, asegurando un rendimiento estable en la identificación y el conteo de los animales dentro del galpón.

Figura 1

Aves de Corral en Interacción con el Entorno



Tomado de. *elaboración propia, 2025*

Figura 2

Agrupación de Aves de Corral con Variabilidad de Posturas



Tomado de. *elaboración propia, 2025*

Fase 2: Preparación de Datos

El tratamiento de la información visual recopilada en el galpón representó una etapa fundamental para estructurar el conjunto de datos que alimentaría la red neuronal. A partir de las imágenes obtenidas, se implementaron procedimientos específicos de segmentación y etiquetado que permitieron definir con precisión los contornos de cada ejemplar dentro del entorno. El formato COCO se seleccionó como estándar para la estructuración del banco de imágenes, dado que facilita la anotación detallada de objetos en escenas complejas. La conversión de los registros visuales a este formato requirió la delimitación manual de cada gallina, asegurando que la red neuronal recibiera información clara y diferenciada de los elementos presentes en el galpón. Esta labor se llevó a cabo mediante herramientas especializadas, las cuales permitieron trazar contornos ajustados a la silueta de cada ave y asignar etiquetas específicas a los objetos identificados en las fotografías.

Para garantizar un aprendizaje más efectivo, se emplearon estrategias de enriquecimiento del conjunto de datos mediante modificaciones en la iluminación, rotaciones y simulaciones de superposición entre individuos. Estas técnicas permitieron diversificar los escenarios en los que la red neuronal debía identificar gallinas, dotándola de mayor versatilidad ante variaciones en las condiciones ambientales. El software Roboflow se utilizó para organizar y optimizar el conjunto de imágenes, facilitando la validación del etiquetado y la coherencia en la segmentación. A través de esta plataforma, se realizaron verificaciones automáticas que ayudaron a corregir posibles inconsistencias en la anotación de los elementos visuales, permitiendo que el modelo adquiriera una referencia clara y estructurada de las características distintivas de las aves. La base de datos final quedó conformada por un equilibrio entre imágenes originales y aquellas sometidas a ajustes de contraste, exposición y perspectiva. Esta distribución aseguró que la red

neuronal pudiera reconocer gallinas en distintas posiciones y bajo diversas condiciones de iluminación. La preparación de los datos culminó con la organización de las imágenes en subconjuntos destinados a entrenamiento, validación y prueba, garantizando que el aprendizaje del modelo fuera progresivo y permitiera una evaluación rigurosa de su desempeño en cada fase.

Conversión a Formato COCO para Segmentación y Etiquetado. La transformación de los registros visuales al formato COCO permitió estructurar la información de manera óptima para su procesamiento en la red neuronal. La anotación de cada imagen se realizó mediante herramientas especializadas que facilitaron la identificación precisa de los contornos de las gallinas, diferenciándolas de otros elementos presentes en el galpón. El proceso de segmentación consistió en la delimitación detallada de cada ejemplar dentro del conjunto de imágenes, asegurando que el modelo reconociera con exactitud sus características anatómicas en diversas condiciones.

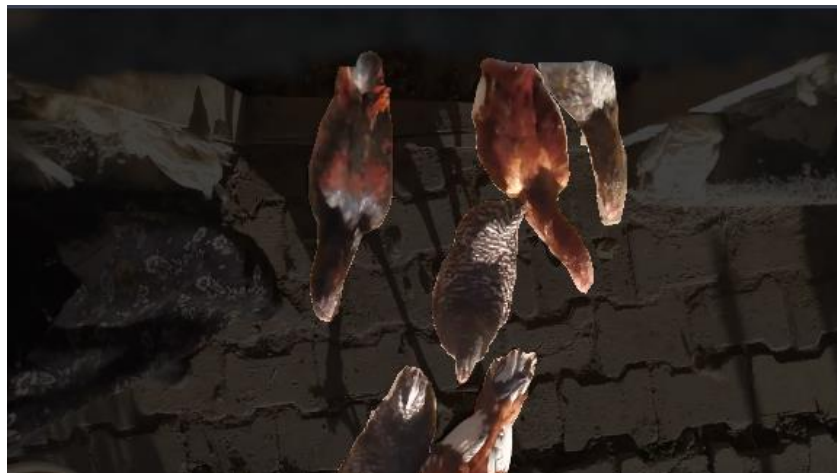
Se estableció un sistema de etiquetado jerárquico, clasificando las aves según su postura, orientación y proximidad a otros objetos. Este procedimiento permitió que la red neuronal aprendiera a distinguir las gallinas en distintos escenarios, incluso cuando se encontraban parcialmente superpuestas o en movimiento.

La estructuración de la base de datos se realizó en la plataforma Roboflow, lo que facilitó la gestión y validación de las anotaciones. A través de esta herramienta, se revisó la coherencia del etiquetado y se implementaron ajustes en las segmentaciones que presentaban imprecisiones. Además, se generaron subconjuntos específicos para entrenamiento, validación y prueba, asegurando una distribución equilibrada de los datos y mejorando la capacidad de generalización del modelo. Para optimizar el rendimiento en la identificación automática, se aplicaron técnicas de aumento de datos, como rotaciones, modificaciones en el contraste y simulaciones de

iluminación variable. Estas adaptaciones incrementaron la diversidad de patrones visuales dentro del conjunto de imágenes, permitiendo que el sistema desarrollara una capacidad de detección más robusta frente a variaciones en las condiciones ambientales del galpón.

Figura 3

Control Avícola Automatizado



Tomado de. *elaboración propia, 2025*

Figura 4

Aves en Transición



Tomado de. *elaboración propia, 2025*

Segmentación de Contornos en Imágenes de Gallinas. El proceso de segmentación de imágenes permitió resaltar los límites de cada gallina dentro del galpón, diferenciándolas de otros elementos del entorno y mejorando la precisión del conteo automatizado. En la Figura 5, se presenta una imagen capturada en condiciones naturales, donde las aves interactúan con su entorno sin modificaciones visuales. La composición incluye variaciones en iluminación, texturas del suelo y elementos estructurales, factores que podrían representar desafíos para la detección automática. A partir de esta imagen original, se aplicaron técnicas de segmentación para delinear los contornos de cada ejemplar, obteniendo una representación más clara de sus siluetas.

Así mismo, en la Figura 6 se observa la misma escena tras el procesamiento con visión artificial, donde cada gallina ha sido identificada y resaltada con trazos de color. La superposición de líneas y la subdivisión del espacio mediante referencias visuales permiten que la red neuronal identifique con mayor precisión la ubicación de cada animal, minimizando interferencias con sombras o estructuras ajenas a la detección, la delimitación de cada ejemplar no solo optimizó la identificación en tiempo real, sino que también mejoró la capacidad del modelo para distinguir patrones morfológicos en condiciones variables. La comparación entre la imagen original y la segmentada evidencia la efectividad del sistema en la extracción de características relevantes, asegurando un conteo preciso dentro del galpón.

Figura 5.

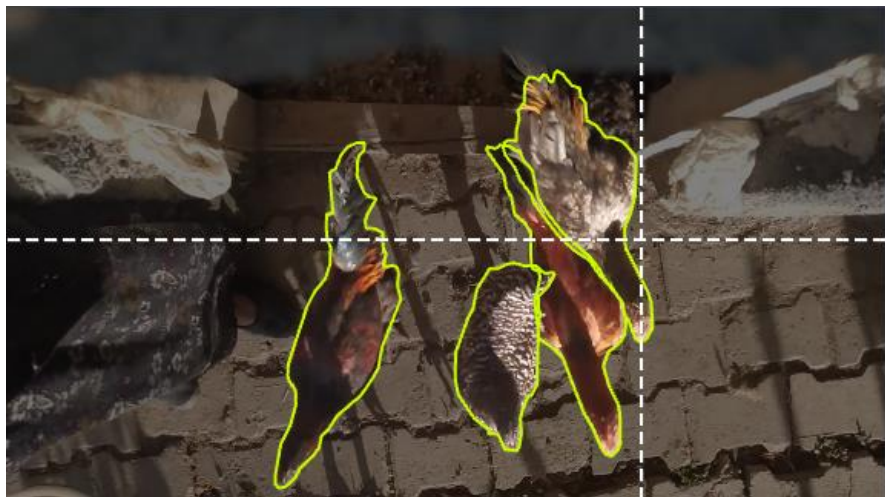
Registro Visual de Gallinas en su Entorno Saliendo del Galpón



Tomado de. *elaboración propia*, 2025

Figura 6

Segmentación de Contornos de Gallinas Mediante Visión Artificial



Tomado de. *elaboración propia*, 2025

Fase 3: Entrenamiento del modelo

El entrenamiento de la red neuronal permitió consolidar un sistema de detección capaz de identificar con precisión la presencia de gallinas dentro del galpón, incluso en condiciones de iluminación y perspectiva variables. La utilización del formato COCO para la segmentación y etiquetado de imágenes facilitó la estructuración del banco de datos, optimizando la interpretación visual del modelo. El proceso de anotación de imágenes en Roboflow permitió delimitar con exactitud los contornos de cada ave, diferenciándolas de otros elementos del entorno. Esta fase resultó fundamental para mejorar la precisión del reconocimiento, ya que el sistema aprendió a distinguir patrones anatómicos característicos, evitando confusiones con sombras, estructuras o agrupaciones de animales.

El conjunto de datos se distribuyó en distintos grupos para garantizar que el modelo no solo adquiriera conocimiento durante la etapa de entrenamiento, sino que también pudiera evaluar su desempeño en contextos no vistos previamente. Esta estrategia permitió ajustar parámetros clave del modelo y reducir posibles errores en la detección. Durante el proceso, se implementaron técnicas de optimización para mejorar la capacidad de generalización del sistema. Mediante la variación de condiciones visuales en las imágenes, como cambios de contraste, orientación y nivel de superposición de los ejemplares, el modelo desarrolló una mayor capacidad de adaptación a las particularidades del entorno real.

Estructuración y Segmentación de Datos en Formato COCO. El proceso de entrenamiento del modelo se basó en la estructuración de los datos mediante el formato *COCO* (*Common Objects in Context*), un estándar ampliamente utilizado en visión artificial para la segmentación y etiquetado de objetos. Esta metodología permitió organizar la información visual de manera que la red neuronal pudiera interpretar con mayor precisión las características

distintivas de cada gallina dentro del galpón.

Cada imagen del banco de datos fue procesada y anotada utilizando herramientas especializadas, asegurando que el modelo recibiera información detallada sobre la silueta, posición y entorno de los ejemplares. La conversión de los registros visuales a este formato optimizó la detección automática, al proporcionar una referencia estructurada que facilitó la diferenciación entre las aves y otros elementos del espacio, como comederos, sombras y estructuras del galpón.

Para la segmentación y etiquetado, se utilizó la plataforma *Roboflow*, donde cada gallina se delimitó con precisión a través de contornos ajustados a su morfología. Mediante la función *Raw Data*, se verificó la calidad de las anotaciones, garantizando que el etiquetado cumpliera con los estándares requeridos para el aprendizaje del modelo. Este proceso fue determinante para mejorar la capacidad del sistema de visión artificial, permitiéndole reconocer patrones visuales con mayor fidelidad y responder de manera más eficiente a las variaciones en iluminación, ángulos de captura y niveles de superposición entre ejemplares. La implementación del formato COCO contribuyó significativamente a la optimización del entrenamiento, asegurando una segmentación precisa y una detección confiable en distintos escenarios dentro del galpón.

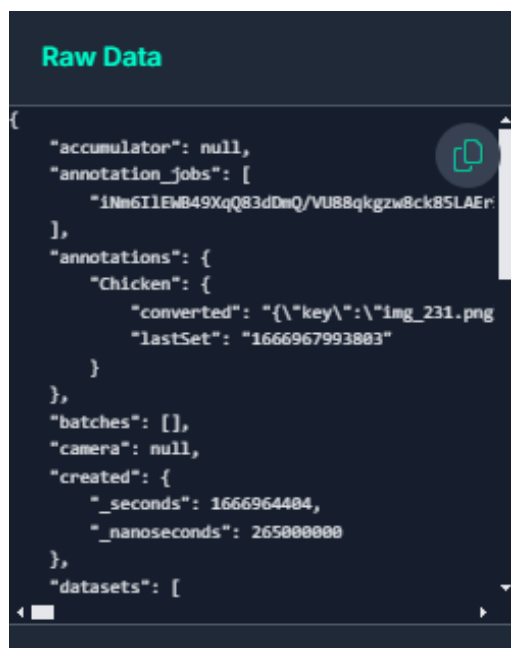
Estructuración de Datos para Detección de Gallinas. La estructuración del banco de imágenes en formato COCO permitió una segmentación precisa de los objetos presentes en el galpón, optimizando la detección de gallinas en distintos escenarios visuales. Para ello, cada imagen se anotó con etiquetas que delimitan los contornos de los ejemplares, asegurando que el modelo de visión artificial pudiera interpretar con fidelidad su morfología en condiciones diversas.

En la Figura 7, se observa un fragmento del archivo generado mediante Roboflow (Raw Data), donde se registra la segmentación y etiquetado de los objetos detectados en la imagen. Este proceso consistió en la identificación automática de cada gallina y su conversión en un conjunto de datos estructurados, donde se especifican parámetros como coordenadas de ubicación, dimensiones y categoría del objeto.

La conversión de las imágenes a este formato facilitó la interpretación visual del modelo, permitiéndole reconocer patrones de forma más eficiente. Adicionalmente, la segmentación en COCO posibilitó que el sistema de detección diferenciara a las aves de otros elementos en el entorno, reduciendo interferencias generadas por sombras, objetos cercanos o agrupaciones de ejemplares. La validación del etiquetado se llevó a cabo mediante una revisión de los datos en la plataforma, asegurando la coherencia en la segmentación y optimizando la precisión del modelo en la detección automática dentro del galpón. La comparación entre las imágenes originales y las procesadas evidencia la efectividad de este procedimiento para estructurar la información visual de manera que facilite el aprendizaje del sistema de inteligencia artificial.

Figura 7

Código de la Segmentación y Etiquetado de una Imagen



```

Raw Data
{
  "accumulator": null,
  "annotation_jobs": [
    "iNmG11EMB49XqQ83dDmQ/VU88qkgzw8ck85LAEr
  ],
  "annotations": {
    "Chicken": {
      "converted": "{\\"key\\":\\"img_231.png
      "lastSet": "1666967993883"
    }
  },
  "batches": [],
  "camera": null,
  "created": {
    "_seconds": 1666964484,
    "_nanoseconds": 265000000
  },
  "datasets": [

```

Tomado de. *elaboración propia*, 2025

Fase 4: Explicación Didáctica del Código

Este código almacena información sobre una imagen utilizada en el entrenamiento de una red neuronal especializada en reconocer objetos. En este caso, la imagen analizada se llama "0070.png", tiene un tamaño de *1920 píxeles de ancho por 1080 píxeles de alto* y está en formato *PNG*. Estos detalles son esenciales para que el modelo pueda procesar correctamente la imagen dentro de un conjunto de datos más amplio. Dentro de la imagen, el código identifica y etiqueta *pollos* utilizando la categoría "Chicken". Para cada pollo detectado, se guarda una serie de coordenadas que forman un polígono alrededor del objeto. Estas coordenadas permiten que la red neuronal sepa con precisión dónde se encuentra cada pollo dentro de la imagen. Así, en futuras predicciones, el modelo podrá identificar patrones similares y detectar pollos en imágenes nuevas sin necesidad de intervención humana.

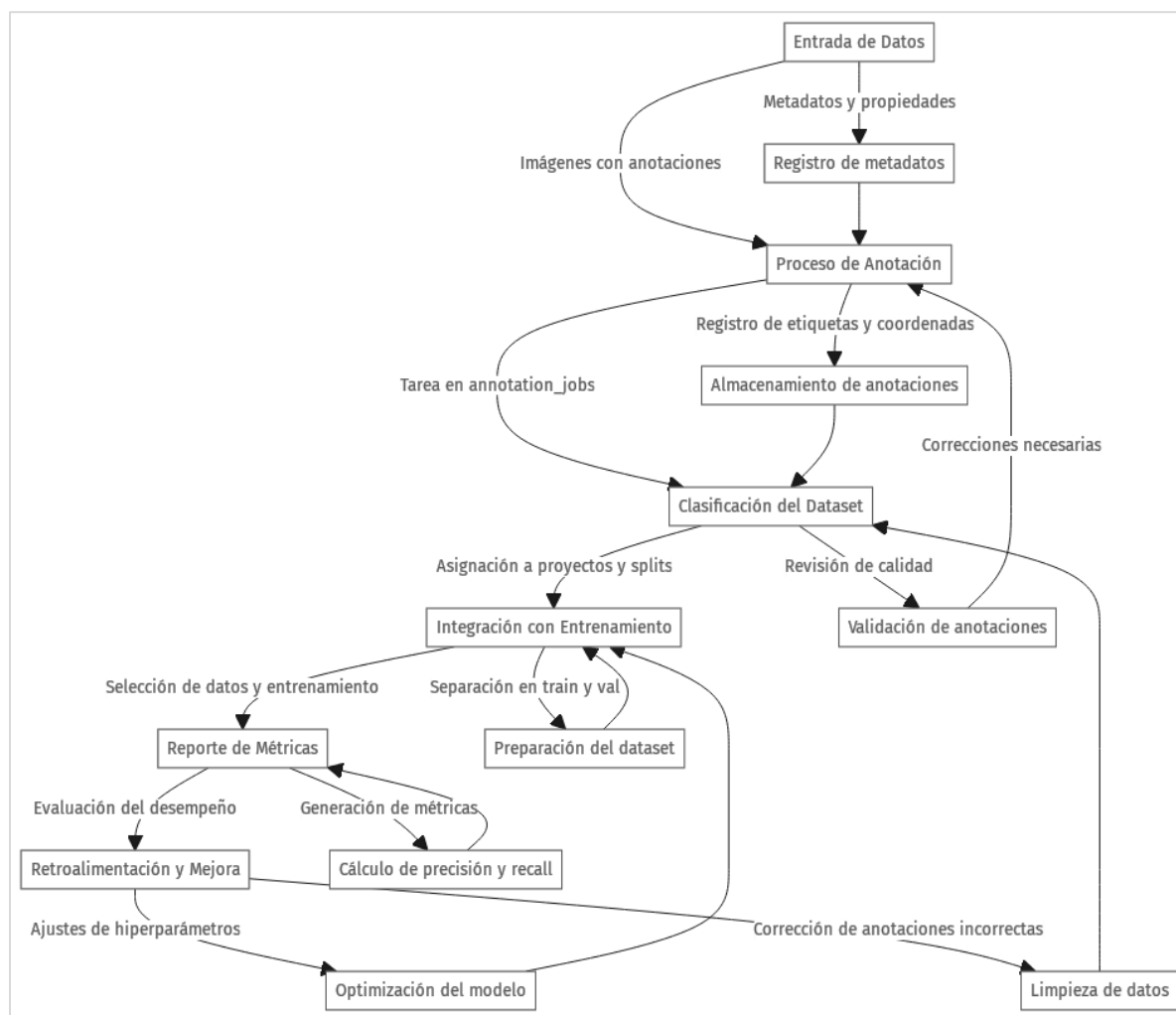
La imagen está clasificada en el *conjunto de entrenamiento* ("*split*": "*train*"), lo que significa que se usa para ajustar los parámetros del modelo. En este proceso, la red neuronal aprende a distinguir a los pollos de otros elementos del entorno mediante múltiples ejemplos etiquetados. A medida que analiza más imágenes con anotaciones similares, mejora su capacidad de reconocimiento.

Además, el código registra información sobre la gestión del archivo. Se almacena la fecha de la última modificación ("*updatedAt*": "*Nov 10, 2022*"), junto con detalles sobre el usuario que lo subió ("*uploader*"). Este seguimiento permite mantener actualizados los datos utilizados en el entrenamiento, asegurando que la red neuronal trabaje con información precisa y organizada, este tipo de datos es fundamental para que los modelos de visión artificial aprendan a reconocer objetos de manera automática. Sin estas anotaciones previas, la red neuronal no tendría referencias claras y no podría identificar patrones con precisión. La Tabla 1 presenta la distribución del conjunto de datos, detallando la cantidad de imágenes asignadas a las fases de entrenamiento y validación, lo que permite visualizar la proporción de información utilizada en cada etapa del proceso.

El procesamiento de un conjunto de datos etiquetados para entrenar una red neuronal sigue una secuencia estructurada que garantiza la precisión y coherencia de la información utilizada en el modelo. Desde la recopilación de imágenes hasta la optimización de su desempeño, cada etapa contribuye a organizar y validar los datos, asegurando que el sistema sea capaz de reconocer patrones con eficiencia. Durante este flujo de trabajo, se implementan técnicas para la anotación, revisión y clasificación de imágenes, facilitando que el modelo adquiera conocimiento de manera progresiva.

La Figura 8 ilustra este proceso, resaltando la interconexión entre cada fase, desde la

incorporación inicial de datos hasta la evaluación del rendimiento. En este esquema se observa cómo la validación de anotaciones, la depuración del dataset y el análisis de métricas permiten afinar la precisión del sistema. Una vez completada la revisión de calidad, los datos son segmentados en conjuntos específicos destinados al entrenamiento y validación, garantizando una distribución equilibrada que favorezca la capacidad de aprendizaje del modelo. Para medir su desempeño, se generan indicadores que reflejan su precisión y capacidad de detección en nuevas imágenes. A partir de estos resultados, se realizan ajustes estratégicos en los parámetros del modelo, permitiendo su mejora progresiva y su adaptación a escenarios más complejos.

Figura 8*Proceso de Anotación y Entrenamiento de Imágenes Para Redes Neuronales*

Tomado de. *elaboración propia, 2025*

Tabla 1*Estructura de Datos en Formato JSON para Anotación de Imágenes*

```

{
  "accumulator": null,
  "annotation_jobs": [
    "iNm6lIEWB49XqQ83dDmQ/fBYf8DetauPvgR09NOhR"
  ]
}

```

```
  ],
  "annotations": {
    "Chicken": {
      "converted": "{\\"key}",
      "lastSet": "1668098956328"
    }
  },
  "batches": [],
  "camera": null,
  "created": {
    "_seconds": 1668097907,
    "_nanoseconds": 312000000
  },
  "datasets": [
    "iNm6IIEWB49XqQ83dDmQ"
  ],
  "extension": "png",
  "hashes": [
    "a249ff9f3d5a3c838699694ee5340a24"
  ],
  "height": 1080,
  "id": "1zAewWcYNYtDei6X5ruF",
  "label": [
    "Unlabeled"
  ],
  "metadata": {
    "no": "metadata"
  },
  "name": "0070.png",
  "owner": "GuIwq2aur7TGnFOUEXgM0Lw34CT2",
  "projects": [
    "iNm6IIEWB49XqQ83dDmQ"
  ],
  "r": 0.1794871794871795,
  "split": "train",
  "split.iNm6IIEWB49XqQ83dDmQ": "train",
  "tags": [
```

```
"iNm6IIEWB49XqQ83dDmQ:status:annotated"  
},  
"updated": {  
  "_seconds": 1668097907,  
  "_nanoseconds": 312000000  
},  
"updatedAt": "Nov 10, 2022",  
"updatedFromRegenerate": "1668098956328",  
"updatedAtTime": "11:31AM",  
"updatedAtTimezone": "-05:00",  
"uploader": "GuIwq2aur7TGnFOUEXgMOLw34CT2",  
"width": 1920  
}
```

Tomado de. *elaboración propia, 2025*

Objetivo 2: Control de Variables Ambientales

La producción avícola intensiva requiere mantener condiciones ambientales estables para garantizar el desarrollo saludable de las aves y optimizar la productividad. Factores como la temperatura, la humedad relativa y la ventilación son determinantes en el bienestar animal, ya que influyen directamente en la fisiología de los pollos y en la prevención de enfermedades respiratorias, estrés térmico o deshidratación Islam *et al.* (2019); Neethirajan (2021).

El presente trabajo expone un montaje experimental basado en Arduino UNO, el cual permite la medición y control de las variables ambientales mencionadas. El sistema incorpora sensores de humedad y temperatura, así como un actuador de ventilación controlado electrónicamente. Se complementa con indicadores luminosos que facilitan la identificación rápida de estados normales y de alerta. Este tipo de soluciones, enmarcadas en la automatización agrícola, contribuyen a la tecnificación de los galpones y fortalecen el bienestar animal, en consonancia con las tendencias de sostenibilidad y productividad en la avicultura moderna.

Variables Implícitas en el Sistema

El sistema diseñado contempla dos tipos de variables:

Temperatura del aire (°C). Medida a través del sensor DHT22, es fundamental porque las aves jóvenes son altamente sensibles a descensos bruscos de temperatura, mientras que temperaturas elevadas generan estrés calórico y riesgo de mortalidad Lorencena *et al* (2020).

Humedad relativa (%). También medida con el DHT22, afecta el confort y la respiración de las aves. Niveles altos incrementan la concentración de amoníaco y la proliferación de patógenos, mientras que niveles bajos generan sequedad en las vías respiratorias Efendiev *et al* (2024).

Estados de Control y Actuación.

Incluyen la activación de un ventilador eléctrico (para disipar calor y humedad), el encendido de LEDs indicadores (verde: condiciones óptimas; rojo: alerta ambiental; azul: estado del ventilador), y un botón de control manual que permite forzar la ventilación en caso de emergencia. La Tabla 2 resume las variables monitoreadas y las acciones implementadas.

Tabla 2

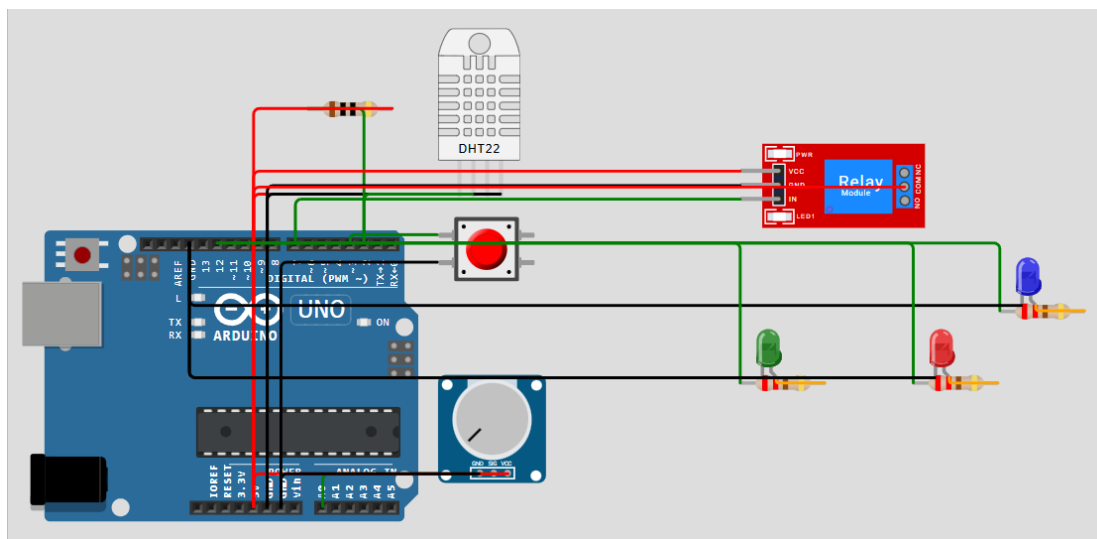
Variables Ambientales Consideradas en el Sistema de Control

| Variable | Rango de referencia en avicultura | Acción del sistema |
|-------------------|--|--|
| Temperatura | 20 – 34 °C | Ventilador ON si > setpoint; Alerta si < 20 °C |
| Humedad relativa | 45 – 75 % | Ventilador ON si > 75 %; Alerta si < 45 % |
| Estado de control | Botón manual | Forzar ventilador ON independientemente de condiciones |

Funcionamiento del Circuito Electrónico

Figura 9

Circuito Identificación y Control de Temperatura y Humedad



Nota. Arduino Uno con sensor DHT22, potenciómetro, módulo relé, indicadores LED y ventilador.

Tomado de. *elaboración propia*, 2025

El circuito se compone de:

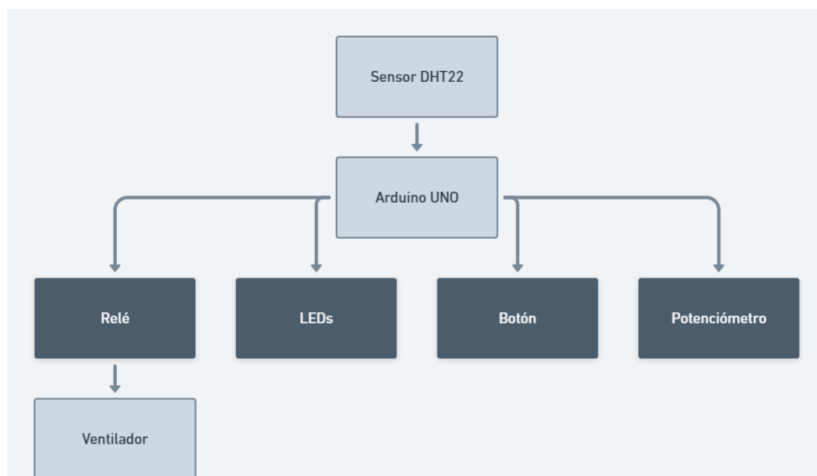
- Sensor DHT22, conectado al pin digital 2, encargado de medir la temperatura y la humedad.
- Módulo relé, vinculado al pin 7, que controla el encendido de un ventilador de corriente continua.
- LEDs indicadores: verde (pin 12), rojo (pin 11) y azul (pin 8).
- Botón pulsador (pin 3) para forzar manualmente el ventilador.
- Potenciómetro (A0) que permite al operador ajustar dinámicamente el umbral de temperatura de referencia.

La Figura 2 muestra el esquema general del montaje electrónico. El flujo de operación inicia con el envío de datos de temperatura y humedad por parte del sensor DHT22.

Posteriormente, el microcontrolador procesa esta información y compara los valores obtenidos con los umbrales previamente definidos. En caso de que la temperatura supere el límite establecido o la humedad exceda el 75 %, el sistema activa el ventilador y enciende un LED azul como indicador de funcionamiento. Por el contrario, si la temperatura desciende por debajo de 20 °C o la humedad cae por debajo del 45 %, se genera un estado de alerta baja, el LED rojo se enciende, el ventilador se apaga y el evento queda registrado en la consola serial. Finalmente, cuando los valores se mantienen dentro de los rangos normales, el LED verde permanece encendido para señalar estabilidad ambiental.

Figura 10

Esquema Conceptual del Sistema Control Ambiental



Tomado de. *elaboración propia, 2025*

Salidas de Información y Resultados

El sistema diseñado ofrece salidas de información tanto en forma visual como digital, lo que permite un monitoreo constante y una reacción inmediata frente a las condiciones

ambientales del galpón. En cuanto a las señales visuales, se emplean tres indicadores luminosos que facilitan la interpretación rápida del estado del ambiente: el LED verde se enciende cuando las condiciones se mantienen dentro de los rangos óptimos para garantizar el bienestar de las aves; el LED rojo se activa en situaciones extremas, ya sea por descensos bruscos de temperatura o por variaciones críticas en la humedad, indicando un estado de alerta que requiere atención; y el LED azul señala que el ventilador está en funcionamiento, lo que contribuye a mejorar la circulación del aire.

Además de las señales visuales, el sistema contempla la activación automática del ventilador, que se enciende cuando la temperatura o la humedad relativa superan los valores establecidos como seguros. De esta manera, se asegura una ventilación adecuada y se promueve el confort térmico dentro del galpón, evitando acumulaciones de calor y exceso de humedad que podrían afectar la salud y el rendimiento productivo de las aves.

En complemento a estas funciones, el sistema cuenta con la generación de mensajes digitales en la ventana serial de Arduino. Esta consola presenta información detallada en intervalos de dos segundos, lo que garantiza un monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales. Los datos que se reportan incluyen la temperatura actual expresada en grados Celsius, el porcentaje de humedad relativa, el setpoint de temperatura definido mediante el potenciómetro, el estado de alerta clasificado como HIGH, LOW u OK según las condiciones registradas, y finalmente el estado del ventilador, que indica si se encuentra encendido (ON) o apagado (OFF). Esta salida digital no solo brinda transparencia en el funcionamiento del sistema, sino que también permite llevar un registro constante que puede analizarse para evaluar tendencias y realizar ajustes cuando sea necesario. Un ejemplo de salida en consola se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3*Ejemplo de Salida Serial del Sistema de Monitoreo Ambiental*

| T (°C) | H (%) | SP_T (°C) | Alerta | Ventilador |
|--------|-------|-----------|--------|------------|
| 31.5 | 70 | 28.0 | HIGH | ON |
| 22.0 | 50 | 28.0 | OK | OFF |
| 18.0 | 60 | 28.0 | LOW | OFF |
| 25.0 | 40 | 28.0 | LOW | OFF |

Tomado de. *elaboración propia, 2025****Relevancia para la Salud de las Aves***

El control automático de las condiciones ambientales responde directamente a las necesidades fisiológicas de los pollos de engorde y gallinas ponedoras. Temperaturas extremas afectan el metabolismo, mientras que la humedad elevada incrementa la proliferación bacteriana y de amoníaco en el ambiente, lo cual compromete la salud respiratoria de las aves Huanhong *et al.* (2023) La implementación de este sistema evita que los cuidadores dependan de ajustes manuales, lo que disminuye la posibilidad de errores humanos y asegura el mantenimiento de microclimas estables en los galpones. Este tipo de control genera un impacto positivo reflejado en la reducción de la mortalidad, la mejora de la conversión alimenticia, el incremento en la uniformidad del crecimiento de las aves y el cumplimiento de estándares relacionados con el bienestar animal y la sostenibilidad productiva.

Conclusión

La integración de sensores DHT22, un potenciómetro de ajuste, indicadores luminosos y un sistema de ventilación controlado mediante Arduino constituye una solución eficaz para el monitoreo y control ambiental en galpones avícolas. El sistema permite detectar tanto excesos

como deficiencias en temperatura y humedad, reaccionando de manera inmediata para mantener un entorno saludable. Esta herramienta de control constituye un paso significativo hacia la tecnificación de los galpones y la modernización de la producción avícola.

Objetivo 3: Sistema de Dosificación con Báscula para Bienestar Avícola

La gestión precisa del alimento y del agua en un galpón de pollos influye de manera directa en el bienestar de las aves, en su estado sanitario y en la eficiencia productiva. Un suministro oportuno reduce el estrés, favorece la uniformidad de crecimiento y disminuye riesgos de deshidratación o subalimentación. Con ese propósito, se implementó un montaje electrónico centrado en una única báscula de carga conectada a un convertidor HX711 y gobernada por un microcontrolador Arduino. El sistema mide de forma continua el peso conjunto del dispensador (alimento y agua en un mismo contenedor/soporte de peso) y, cuando detecta un nivel bajo, ordena la activación de una sola válvula (mediante un módulo de relé) para el llenado. La lógica se acompaña de telemetría básica por consola serial para análisis y trazabilidad.

Variables Implícitas y Criterios de Diseño

La estrategia de control se apoya en un umbral de peso expresado en “cuentas” del ADC del HX711 (con calibración a unidades físicas), junto con una histéresis que evita conmutaciones rápidas alrededor del límite. Además, se fija una cadencia de muestreo estable para la observabilidad de la variable medida.

Umbral en cuentas. El HX711 entrega un valor entero con signo proporcional a la carga. Tras un “tare” inicial, la lectura en vacío se aproxima a cero. En operación se evalúa la magnitud absoluta de la señal para decidir el estado de la válvula. Un valor por debajo del umbral indica déficit y activa la reposición; un valor por encima del umbral más una banda de histéresis indica suficiencia y ordena desactivar.

Histéresis. La diferencia entre los puntos de encendido y apagado impide parpadeos cuando el peso oscila alrededor del umbral, estabilizando el sistema y reduciendo ciclos de la válvula.

Tiempo de muestreo. La ventana serial presenta una muestra por segundo. Este periodo equilibra legibilidad, carga de procesamiento y capacidad de detectar cambios lentos (llenado o consumo) en el contenedor.

Estado sanitario y confort. Mantener reservas adecuadas minimiza conductas indeseadas por competencia, reduce estrés térmico asociado a falta de agua y evita caídas de consumo que comprometen la inmunocompetencia. Un control robusto del nivel de dispensado contribuye a la estabilidad ambiental y a la bioseguridad del lote.

Tabla 4

Variables y Parámetros del Sistema de Control por Peso

| Variable | Símbolo | Tipo | Rango típico | Función |
|--------------------------------------|-----------|----------|------------------|-------------------------------------|
| Lectura HX711 (cero-referenciada) | v | Entrada | $\pm(10^4-10^6)$ | Señal proporcional a peso total |
| Umbral encendido | v_{ON} | Ajuste | 10^3-10^5 | Activa válvula si (|
| Histéresis | h | Ajuste | 10^2-10^4 | Define $v_{OFF} = v_{ON} + h$ |
| Umbral apagado | v_{OFF} | Derivado | | Desactiva si (|
| Periodo muestreo | T_s | Ajuste | 1 | Frecuencia de reporte y decisión |
| Estado válvula | u | Salida | {ON, OFF} | Comando a relé de llenado |

Tomado de. *elaboración propia, 2025*

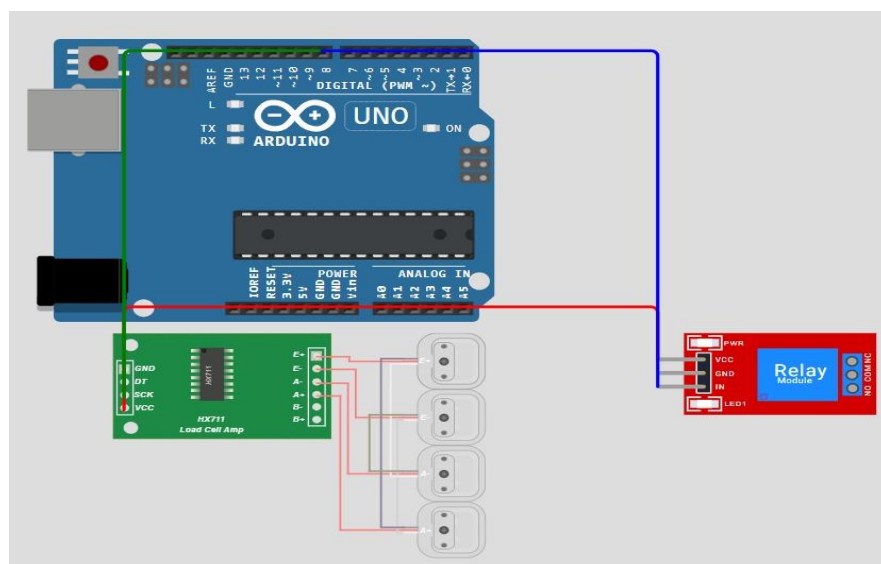
Arquitectura y Funcionamiento del Circuito

El montaje se compone de una celda de carga acoplada al HX711, un Arduino Uno que ejecuta la lógica de decisión y un módulo de relé que energiza una única válvula de llenado. La celda soporta el conjunto “dispensadores de agua y cuidado”, de manera que la masa total es la variable de proceso. El HX711 se alimenta a 5 V, con líneas de datos DOUT y SCK conectadas a los pines digitales 3 y 2 del microcontrolador, respectivamente. El relé recibe VCC y GND del Arduino y su entrada de control desde el pin digital 8. La referencia de masa es común para garantizar una medición estable.

La Figura 4 ilustra el flujo de información y control. El bloque de medición convierte fuerza en señal digital; el microcontrolador evalúa la lógica con histéresis y decide el estado de la válvula. Adicionalmente, envía por el puerto serial un registro compacto de la variable de proceso.

Figura 11

Diagrama Funcional del Sistema con Válvula Única Gobernada por Peso



Tomado de. *elaboración propia, 2025*

La secuencia de operación es la siguiente. Al iniciar, el microcontrolador realiza un “tare” del HX711 para referenciar en cero el estado sin carga. A partir de entonces, cada segundo se adquieren cinco lecturas promedio del convertidor. Si el módulo declara estar listo, la magnitud de la lectura $|v|$ se compara contra v_{ON} y v_{OFF} . Cuando $|v| < v_{ON}$, el sistema ordena abrir la válvula (salida ON) para reponer alimento y agua; cuando $|v| \geq v_{OFF}$, ordena cerrar (salida OFF). En cada instante se imprime el valor en cuentas a consola, facilitando su registro y posterior análisis. Si el HX711 no está listo, se reporta “NA” y la válvula se mantiene desactivada por seguridad.

Salidas del Sistema en la Ventana de Resultados

La ventana serial cumple dos propósitos: observabilidad continua de la variable de proceso y notificación de eventos de interés. El formato adoptado facilita la exportación directa a hojas de cálculo o a utilidades de registro.

Frecuencia y forma de reporte. Cada segundo el sistema imprime el valor de la lectura en cuentas (cero-referenciada) y añade un espacio. Cada cuarenta muestras se inserta un salto de línea para legibilidad. En caso de no disponibilidad temporal del HX711 se imprime “NA” en lugar de un número, conservando la cadencia temporal.

Mensajes por cambio de estado. Además del flujo de valores, cuando la decisión de control cambia (válvula ON→OFF u OFF→ON) se emite un mensaje textual corto. Ejemplos: “→ Llenar dispensadores de agua y cuidado (VÁLVULA=ON)” cuando se activa la reposición; “→ Nivel suficiente (VÁLVULA=OFF)” cuando se alcanza el peso objetivo. Estas notificaciones permiten correlacionar acciones del actuador con el perfil de lectura.

Tabla 5*Mensajes de la Consola y su Significado Operativo*

| Evento | Texto Aproximado | Interpretación |
|--|---|---|
| Arranque con HX711 listo | HX711 listo | La medición está disponible; comienza el registro. |
| Pérdida temporal de disponibilidad | ALERTA: HX711 no listo y líneas NA | Se interrumpe la medición; la válvula permanece en OFF por seguridad. |
| Lectura por debajo del umbral | -> Llenar dispensadores de agua y cuido (VALVULA=ON) | Se inicia la reposición conjunta de alimento y agua. |
| Lectura por encima de umbral de apagado | -> Nivel suficiente (VALVULA=OFF) | Se detiene el llenado por alcanzarse la masa objetivo. |

Tomado de. *elaboración propia, 2025*

Este esquema de telemetría favorece la documentación de pruebas, la trazabilidad de eventos y la auditoría de decisiones de control, elementos que inciden en prácticas de manejo basadas en datos y, por extensión, en el bienestar del lote.

Consideraciones para Salud y Ambiente de las Aves

Una arquitectura que mantiene reservas mínimas estables reduce episodios de competencia por el alimento y el agua, limita la variabilidad de consumo y atempera el estrés. Al tratar el contenedor conjunto como una única variable de proceso, se simplifica el hardware manteniendo el foco en la disponibilidad efectiva; en galpones con condiciones ambientales variables, esta simplicidad es valiosa para asegurar confiabilidad y mantenimiento. La histéresis protege los actuadores frente a oscilaciones por vibración del contenedor o micro-movimientos

de las aves, alargando la vida útil de la válvula y disminuyendo el ruido acústico que podría alterar el comportamiento del lote. La cadencia de muestreo y el registro continuo aportan evidencia para ajustar umbrales de manera adaptativa, por ejemplo, elevándolos en periodos de mayor demanda hídrica (olas de calor) o reduciéndolos cuando el consumo sea menor, contribuyendo a un microambiente estable y a mejores indicadores de bienestar.

Objetivo 4: Sistema de Monitoreo Sanitario en Ambientes Avícolas

El bienestar de las aves en sistemas de producción intensiva depende de un equilibrio ambiental que permita garantizar su crecimiento, productividad y salud. La crianza tecnificada ha puesto en evidencia que los brotes de enfermedades no se originan únicamente en la interacción entre individuos, sino también en las condiciones fisicoquímicas del entorno en el que se desarrollan. Factores como la acumulación de gases, la humedad relativa del aire, la temperatura ambiental y el estado de los fluidos orgánicos de las aves pueden actuar como disparadores de patologías respiratorias, digestivas o metabólicas que comprometen la productividad del lote. En este sentido, la implementación de sistemas electrónicos de monitoreo constituye un recurso preventivo de alta relevancia, pues permite detectar tempranamente desviaciones de los parámetros sanitarios y, en consecuencia, activar protocolos de control para reducir riesgos de morbilidad y mortalidad.

El presente montaje se enmarca en un galpón automatizado para la crianza de pollos y busca demostrar la integración de sensores de bajo costo y actuadores de señalización visual como mecanismo de vigilancia constante del ambiente. El sistema incorpora la medición indirecta de pH en fluidos, la lectura de humedad y temperatura relativa del aire, así como la representación de estados de riesgo a través de indicadores luminosos. Este enfoque combina la detección de variables críticas con una lógica de control sencilla, apta para una implementación

continua en condiciones de producción agrícola.

Variables Sanitarias en el Contexto Avícola

Dentro del control ambiental, los gases generados por la descomposición de excretas, como amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2), son factores de impacto directo sobre la salud respiratoria de las aves. Altas concentraciones de amoníaco deterioran las mucosas nasales y oculares, provocan lesiones en el tracto respiratorio superior y predisponen a infecciones bacterianas secundarias. Por su parte, el dióxido de carbono en exceso reduce la disponibilidad de oxígeno y puede comprometer el metabolismo aeróbico de los animales.

En el montaje se integran variables de carácter indirecto que permiten aproximarse al estado del ambiente y del lote. La temperatura y la humedad relativa constituyen parámetros fundamentales que, en condiciones inadecuadas, aceleran la volatilización del amoníaco y aumentan la proliferación de patógenos. Una humedad relativa elevada, por ejemplo, facilita la condensación en superficies y la acumulación de material orgánico húmedo, lo cual intensifica la generación de gases nocivos. Asimismo, la medición del pH en fluidos corporales, como la orina o las heces, puede actuar como un biomarcador de desequilibrios metabólicos relacionados con procesos infecciosos o deficiencias nutricionales. En la siguiente tabla se presentan las principales variables contempladas en el sistema y su relevancia en el control sanitario del galpón:

Tabla 6*Descripción de Variables de Control Sanitario del Galón*

| Variable | Rango Óptimo | Desviación Moderada | Desviación Crítica (Alerta) | Impacto sobre la salud de las aves |
|-----------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------------|---|
| pH urinario/fecal | 6.5 – 7.5 | 6.0 – 6.5 o 7.5 – 8.0 | < 6.0 o > 8.0 | Indicador de acidosis, alcalosis o infecciones metabólicas. |
| Temperatura (°C) | 20 – 27 | 18 – 20 o 27 – 32 | < 18 o > 32 | Estrés térmico, reducción de consumo de alimento, mortalidad en extremos. |
| Humedad relativa % | 50 – 70 | 40 – 50 o 70 – 80 | < 40 o > 80 | Favorece generación de amoníaco, proliferación de patógenos y problemas respiratorios. |

Tomado de. *elaboración propia, 2025*

La correlación entre estas variables permite interpretar no solo la estabilidad del ambiente, sino también la tendencia hacia condiciones que podrían desencadenar brotes de enfermedades.

Funcionamiento del Circuito de Monitoreo

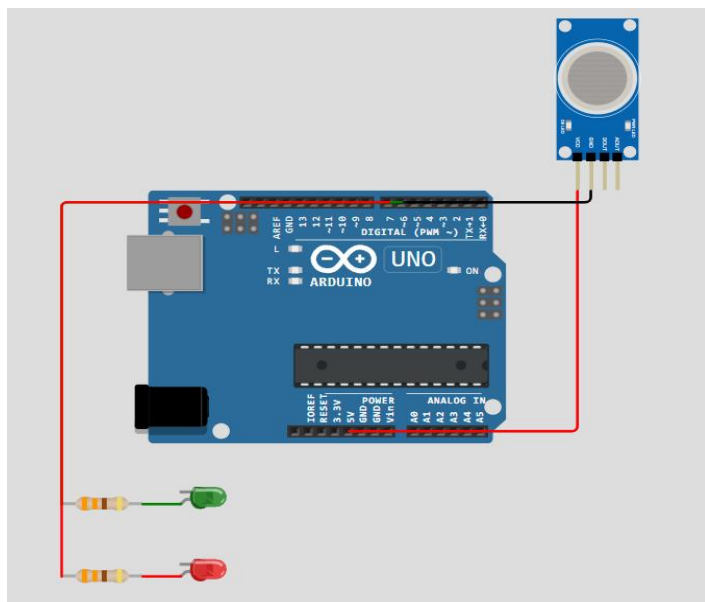
El sistema de monitoreo se implementa a partir de un microcontrolador que actúa como núcleo de procesamiento y toma de decisiones. A dicho controlador se conecta un sensor digital de temperatura y humedad relativa, encargado de registrar de manera periódica los valores ambientales. Paralelamente, se dispone de un sensor analógico que representa la medición de pH,

ajustado para simular los valores de acidez o alcalinidad en fluidos corporales de las aves.

El procesamiento de la información se realiza mediante una rutina que compara los valores obtenidos con umbrales previamente establecidos en función de literatura zootécnica. A partir de esta comparación se determina el estado de la variable: normal, advertencia o alerta. Para comunicar el resultado se utilizan tres indicadores luminosos: verde, amarillo y rojo. El encendido del LED verde confirma que las condiciones se encuentran dentro de los rangos óptimos; el LED amarillo advierte sobre un desvío moderado que podría evolucionar en un problema sanitario si no se corrige; mientras que el LED rojo indica una condición crítica que requiere intervención inmediata. En la Figura 12 siguiente se presenta el esquema del circuito diseñado, en el cual se aprecian las conexiones del microcontrolador, el sensor de temperatura-humedad, el sensor de pH y los tres indicadores luminosos.

Figura 12

Disposición Esquemática del Montaje



Nota. Sesnor MQ135. Tomado de. *elaboración propia*, 2025

Resultados del Sistema en la Ventana Serial

El programa cargado en el microcontrolador no solo activa los indicadores luminosos, sino que también genera un registro continuo en la interfaz de comunicación serial. En esta ventana se despliega, de forma ordenada, la lectura de cada variable junto con el estado sanitario determinado por el algoritmo de control. La salida típica incluye valores de pH, temperatura, humedad relativa y la etiqueta de estado correspondiente.

Tabla 7

Sistema Básico de Monitoreo Sanitario Avícola

| | | | |
|---------|-----------|---------|--------------------|
| pH=7.12 | T=25.3 °C | HR=62 % | ESTADO=OK |
| pH=6.48 | T=28.1 °C | HR=74 % | ESTADO=ADVERTENCIA |
| pH=8.34 | T=33.7 °C | HR=85 % | ESTADO=ALERTA |

Tomado de. *elaboración propia, 2025*

La secuencia evidencia cómo el sistema reconoce las variaciones de las condiciones ambientales y fisiológicas, clasificándolas en diferentes niveles de riesgo. De esta manera, la observación del monitor serial ofrece al operador una trazabilidad inmediata de la evolución de parámetros críticos.

El valor agregado de esta salida radica en su utilidad como registro histórico. Al almacenar los datos, es posible identificar tendencias en la concentración de humedad, temperatura y condiciones de pH que, correlacionadas con la producción de gases en el galpón, permiten anticipar brotes de enfermedades. Así, la interacción entre hardware y software cumple la función preventiva propuesta: evitar que la acumulación de gases como el amoníaco o el CO₂ deteriore la salud de las aves y genere pérdidas económicas para el productor.

Objetivo 5: Ahorro de Energía para Disminuir los Costos de y el Impacto Ambiental

La eficiencia energética constituye un eje estratégico en la modernización de la producción avícola, ya que permite reducir de manera simultánea los costos operativos y la huella ambiental asociada a las actividades del galpón. En un entorno automatizado, el consumo de electricidad proviene principalmente de sistemas de iluminación, ventilación, climatización, dispensado de alimento y equipos de monitoreo continuo. La adopción de prácticas de optimización energética contribuye a una operación más sostenible, garantizando que los recursos se empleen de manera racional sin comprometer el bienestar animal ni la productividad del lote.

Una de las primeras medidas consiste en integrar sistemas de iluminación LED de alta eficiencia, programados con ciclos de luz adaptados a las necesidades fisiológicas de las aves. Este tipo de iluminación reduce hasta en un 60 % el consumo frente a tecnologías convencionales y prolonga la vida útil de las luminarias. De igual forma, el diseño de programas de encendido y apagado escalonado evita el uso innecesario de energía en horas de baja actividad.

Otra estrategia es el empleo de ventiladores y extractores de velocidad variable, los cuales ajustan su desempeño en función de la temperatura y la humedad interna. Estos dispositivos, controlados por algoritmos de gestión ambiental, reducen la demanda eléctrica al operar únicamente cuando es necesario y a la potencia justa para mantener condiciones óptimas.

El uso de energías renovables, como paneles solares, representa una alternativa viable para suplir parte de la demanda eléctrica del galpón. Esta práctica no solo disminuye la dependencia de la red pública, sino que también mejora la rentabilidad al reducir los gastos mensuales en electricidad. De manera complementaria, los biodigestores permiten transformar

residuos orgánicos en biogás, que puede emplearse en procesos de calefacción o como respaldo energético en periodos de alta demanda.

En cuanto a la climatización, se recomienda la instalación de aislantes térmicos en techos y paredes, que reducen las pérdidas de calor en épocas frías y limitan la entrada de calor en temporadas cálidas. Esta medida pasiva contribuye significativamente al ahorro energético al disminuir la necesidad de calefacción o ventilación intensiva.

Por último, la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real con análisis de datos históricos favorece la identificación de patrones de consumo y la detección de ineficiencias. Con esta información, es posible ajustar la programación de equipos y optimizar el uso de recursos energéticos de acuerdo con la dinámica productiva del galpón.

La siguiente tabla resume las principales estrategias de ahorro energético aplicables al sistema automatizado (Tabla 8).

Tabla 8

Estrategias de Ahorro Energético en un Galpón Automatizado.

| Estrategia | Descripción | Beneficio principal |
|------------------------------------|--|--|
| Iluminación LED programada | Uso de luminarias eficientes con ciclos de luz adaptados | Reducción de consumo eléctrico y mayor durabilidad |
| Ventiladores de velocidad variable | Ajuste dinámico según temperatura y humedad | Optimización del gasto energético en climatización |
| Paneles solares | Generación de energía renovable in situ | Disminución de dependencia de la red eléctrica |
| Biodigestores | Producción de biogás a partir de residuos orgánicos | Aprovechamiento de desechos y reducción de costos de calefacción |

| Estrategia | Descripción | Beneficio principal |
|----------------------|--|---|
| Aislamiento térmico | Materiales aislantes en paredes y techos | Disminución en el uso de calefacción y ventilación |
| Monitoreo energético | Registro y análisis en tiempo real del consumo | Identificación de ineficiencias y programación óptima |

Tomado de. *elaboración propia, 2025*

En conjunto, estas medidas fortalecen la sostenibilidad del galpón, permiten disminuir los costos de producción y reducen el impacto ambiental de la actividad avícola, alineando el proceso productivo con prácticas responsables y tecnológicamente avanzadas.

Conclusiones

Conclusión Sobre la Clasificación y Conteo de Especímenes Mediante Visión Artificial

En principio, la incorporación de visión artificial y redes neuronales en el conteo y clasificación de pollos representó un avance significativo en la tecnificación del galpón. Este objetivo mostró que la captura y procesamiento de imágenes en tiempo real permite una supervisión precisa del número de especímenes, su distribución espacial y, en algunos casos, la detección de comportamientos anómalos. La capacidad de diferenciar aves en distintas condiciones de iluminación, ángulos de captura o superposición refleja la adaptabilidad del modelo entrenado con datos reales.

En efecto, la reducción de la intervención manual en esta actividad se tradujo en una mayor exactitud y en la disminución de los tiempos de monitoreo, lo cual incrementa la eficiencia de la operación. Además, la información generada por estos sistemas constituye un recurso valioso para la toma de decisiones estratégicas, ya que posibilita ajustar las condiciones ambientales, la distribución del alimento y los parámetros de manejo según la densidad del lote. En términos productivos, el conteo automatizado garantiza trazabilidad y transparencia en la gestión del galpón, reforzando la confiabilidad del proceso. Por tanto, este objetivo permitió demostrar que la integración de visión artificial no solo es viable, sino también necesaria para una producción avícola moderna y alineada con estándares de innovación tecnológica.

Control Automatizado de Variables Ambientales

De forma análoga, el desarrollo de un sistema automatizado para la regulación de la temperatura, la humedad y la ventilación en el galpón permitió evidenciar la trascendencia de mantener un microclima estable como requisito indispensable para garantizar el bienestar y la productividad de las aves. En la crianza intensiva, incluso pequeñas variaciones en las

condiciones ambientales pueden generar efectos adversos en la salud del lote, entre ellos el estrés térmico, la deshidratación, la disminución en el consumo de alimento y la proliferación de patógenos oportunistas. Estos factores, cuando no se controlan de manera adecuada, incrementan el riesgo de mortalidad y reducen la eficiencia productiva, lo que se traduce en pérdidas económicas considerables para el productor.

La implementación de sensores de alta precisión y actuadores sincronizados con sistemas de control inteligente permitió reducir de forma significativa la dependencia de la supervisión manual, minimizando la posibilidad de errores humanos y garantizando una respuesta inmediata frente a situaciones críticas. El monitoreo en tiempo real, acompañado de alarmas y protocolos de actuación automática, demostró que la tecnología es capaz de mantener condiciones estables en periodos prolongados, incluso en escenarios de variaciones externas considerables, como olas de calor o descensos bruscos de temperatura. Esta capacidad de reacción inmediata constituye un valor agregado, ya que asegura un entorno de crianza más confiable y con menores riesgos sanitarios.

Otro aspecto relevante identificado fue la relación directa entre la estabilidad ambiental y el ahorro en insumos veterinarios. Al reducirse el estrés en las aves y mantenerse condiciones óptimas de temperatura y humedad, se disminuyó la incidencia de enfermedades respiratorias y digestivas, lo que se tradujo en una menor necesidad de tratamientos correctivos y, por ende, en un ahorro en medicamentos y en la mano de obra destinada a labores de atención sanitaria. Este beneficio económico, sumado a la reducción de pérdidas por mortalidad, refuerza la idea de que la automatización no solo constituye una inversión tecnológica, sino también una estrategia de sostenibilidad financiera.

Asimismo, el sistema automatizado brindó la posibilidad de generar y almacenar registros

históricos de datos ambientales, los cuales se convierten en una herramienta estratégica para la planeación de futuros ciclos productivos. La trazabilidad de la información permite analizar tendencias, identificar patrones recurrentes y anticipar la adopción de medidas preventivas antes de que se presenten escenarios críticos. Esto dota al galpón de una capacidad de gestión basada en evidencia, lo que fortalece la toma de decisiones y facilita la implementación de planes de mejora continua.

Desde la perspectiva del bienestar animal, el control automatizado contribuyó a la creación de un ambiente más confortable para las aves, en el que se redujo la exposición a condiciones extremas y se favoreció un crecimiento uniforme. Esta condición homogénea no solo repercute en mejores indicadores productivos, sino que también responde a las exigencias actuales en materia de bienestar animal y seguridad alimentaria. El cumplimiento de estándares internacionales en estas áreas no solo beneficia al productor en términos de competitividad en el mercado, sino que también contribuye a proyectar una imagen responsable y comprometida con la sostenibilidad.

En consecuencia, este objetivo permitió consolidar un sistema confiable y de alta aplicabilidad en la avicultura moderna. La combinación de sensores, algoritmos de control y registros digitales demostró que es posible alcanzar un modelo de producción tecnificado, sostenible y adaptable a las condiciones cambiantes del entorno. La experiencia derivada de este proceso evidencia que la automatización ambiental no solo se traduce en mejoras productivas inmediatas, sino que también establece las bases para una transformación estructural en la manera de gestionar los galpones, en donde la precisión tecnológica se convierte en el eje central para alcanzar eficiencia, rentabilidad y responsabilidad ambiental.

Automatización en Alimentación y Suministro de Agua

La gestión precisa de la alimentación y el suministro de agua es un factor determinante para el desarrollo uniforme de los pollos. La introducción de sistemas automáticos en esta área demostró ser eficaz al garantizar la disponibilidad continua de recursos básicos, eliminando episodios de subalimentación o deshidratación. El empleo de sensores y algoritmos de control permitió establecer umbrales claros de activación y desactivación, lo que evitó tanto el desperdicio de insumos como la sobrecarga en los dispensadores.

Este objetivo evidenció que la automatización en la distribución de alimento y agua no solo mejora la eficiencia operativa del galpón, sino que también tiene un impacto directo en la bioseguridad del lote. Al disminuir la manipulación humana, se redujo el riesgo de contaminación cruzada y se promovió un entorno más higiénico. Asimismo, la homogeneidad en el crecimiento de las aves facilita la planeación de la producción y la comercialización, ya que la variabilidad en el peso y tamaño de los pollos disminuye considerablemente. En síntesis, la implementación de sistemas automáticos de suministro se constituye en una estrategia clave para garantizar estabilidad, reducir costos operativos y elevar los estándares de calidad en la crianza intensiva.

Conclusión Sobre el Monitoreo Sanitario en Ambientes Avícolas

El diseño de un sistema de monitoreo sanitario reafirmó que la salud de las aves depende tanto de su interacción con el entorno como de la estabilidad de parámetros fisiológicos y ambientales. La medición de variables como temperatura, humedad relativa y pH en fluidos corporales constituye un indicador temprano de condiciones adversas que podrían derivar en brotes de enfermedades. El uso de indicadores visuales y registros digitales permitió establecer un sistema preventivo que alerta sobre desviaciones moderadas y críticas, reduciendo la

probabilidad de pérdidas masivas en el lote.

Este objetivo resaltó que la prevención, basada en el control constante de variables críticas, es más rentable que la corrección mediante tratamientos posteriores. El registro histórico de datos abre la posibilidad de identificar tendencias, correlacionar la aparición de enfermedades con determinadas condiciones ambientales y diseñar planes de bioseguridad más sólidos. La automatización en este campo, además de contribuir a la sostenibilidad económica, responde a las crecientes exigencias normativas sobre bienestar animal y seguridad alimentaria. En este sentido, el monitoreo sanitario electrónico se constituye como un pilar de la avicultura moderna, garantizando un manejo responsable y eficiente de la salud animal.

Implementación de Tecnología de Ahorro de Energía

La incorporación de estrategias de ahorro energético en el galpón demostró ser un factor crucial tanto para la sostenibilidad ambiental como para la reducción de costos de producción. El uso de iluminación LED programada, ventiladores de velocidad variable, aislantes térmicos y fuentes de energía renovable como paneles solares y biodigestores permitió evidenciar que la eficiencia energética no es una opción complementaria, sino un componente esencial del modelo productivo. Estas medidas, al integrarse a los sistemas automatizados, lograron disminuir el consumo eléctrico sin afectar el confort térmico ni el bienestar de las aves.

El análisis de patrones de consumo mediante plataformas de monitoreo en tiempo real facilitó la identificación de ineficiencias y la optimización de los equipos, promoviendo una gestión energética proactiva. Asimismo, el aprovechamiento de residuos para la generación de biogás demostró que es posible convertir los subproductos de la producción avícola en recursos útiles, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. Este objetivo permitió concluir que la sostenibilidad del galpón no solo depende del control ambiental y sanitario, sino también de la

integración de prácticas responsables con el entorno. Al disminuir el impacto ambiental y reducir costos energéticos, la producción avícola se encamina hacia un modelo más competitivo y en consonancia con los desafíos actuales de eficiencia y responsabilidad ecológica.

Apéndices

Apéndice A

Código para Variables Ambientales

Sketch ino

```
#include <DHT.h>

#define DHTPIN  2
#define DHTTYPE  DHT22

#define RELAY_PIN 7 // Módulo relé (activo en LOW)
#define LED_FAN  8 // LED azul: ON cuando el ventilador está ON
#define LED_OK   12 // Verde: normal
#define LED_ALERT 11 // Rojo: alerta
#define BUTTON_PIN 3 // Botón a GND (INPUT_PULLUP)
#define POT_PIN  A0 // Setpoint de temperatura

const float HUM_ALERT = 75.0;
const float TEMP_MIN  = 20.0;
const float TEMP_MAX  = 34.0;

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

bool fanState = false;

void setFan(bool on) {
  digitalWrite(RELAY_PIN, on ? LOW : HIGH); // relé activo en LOW
  digitalWrite(LED_FAN,  on ? HIGH : LOW); // LED azul sigue al FAN
}
```

```
bool readDHT(float &t, float &h) {
    // Reintentos cortos por si el primer intento devuelve NaN
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        h = dht.readHumidity();
        t = dht.readTemperature();
        if (!isnan(h) && !isnan(t)) return true;
        delay(150);
    }
    return false;
}

float readTempSetpoint() {
    int raw = analogRead(POT_PIN);
    float sp = raw / 1023.0;
    return TEMP_MIN + sp * (TEMP_MAX - TEMP_MIN);
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED_FAN, OUTPUT);
    pinMode(LED_OK, OUTPUT);
    pinMode(LED_ALERT, OUTPUT);
    pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);

    setFan(false);
    dht.begin();
    delay(1500); // warm-up del DHT22
}

void loop() {
    float t, h;
    bool ok = readDHT(t, h);
    float spTemp = readTempSetpoint();
```

```

if (!ok) {
  Serial.println(F("Error leyendo DHT22"));
  // Mantén estado del ventilador según botón para no quedar sin control
  bool buttonPressed = (digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW);
  setFan(buttonPressed);
  digitalWrite(LED_ALERT, HIGH);
  digitalWrite(LED_OK, LOW);
  delay(2000); // respeta el periodo mínimo del DHT22
  return;
}

bool alert = (t > spTemp) || (h > HUM_ALERT);
bool buttonPressed = (digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW);
fanState = alert || buttonPressed;

setFan(fanState);
digitalWrite(LED_ALERT, alert ? HIGH : LOW);
digitalWrite(LED_OK, alert ? LOW : HIGH);

Serial.print(F("T(°C)=")); Serial.print(t, 1);
Serial.print(F(" H(%)=")); Serial.print(h, 0);
Serial.print(F(" SP_T(°C)=")); Serial.print(spTemp, 1);
Serial.print(F(" ALERT=")); Serial.print(alert ? "1" : "0");
Serial.print(F(" FAN=")); Serial.println(fanState ? "ON" : "OFF");

delay(2000); // DHT22: ~0.5 Hz
}

```

Código para variables de dosificación

```

#include "HX711.h"

// ----- Pines -----
const int PIN_HX_DOUT = 3; // HX711 DT/DOOUT
const int PIN_HX_SCK = 2; // HX711 SCK/CLK
const int PIN_RELAY = 8; // Válvula (relé)
// ----- HX711 -----
// Sin calibración: se trabaja en "cuentas" crudas cero-referenciadas (tras tare).
HX711 scale;

// Muestras e impresión
const unsigned long SAMPLE_MS = 1000; // imprimir cada 1 s
unsigned long lastSample = 0;
int printed = 0;

// ----- Umbrales -----
// Activa la válvula cuando el valor (|cuentas|) sea MENOR que este umbral.
// Nota: Ajusta estos valores mirando la consola (cuando esté "bajo" vs "suficiente").
long THRESH_ON_COUNTS = 20000; // encender por debajo de esto
long HYST_COUNTS = 2000; // histéresis
long THRESH_OFF_COUNTS = THRESH_ON_COUNTS + HYST_COUNTS;

// ----- Estado -----
bool valveOn = false;
bool lastValveOn = false;
bool lastHxReady = true;

// ----- Utilidades -----
void setValve(bool on) {
    valveOn = on;
    digitalWrite(PIN_RELAY, on ? HIGH : LOW); // invierte si tu relé es activo en LOW
}

```

```

}

void announceValveChange(bool on) {
  if (on) {
    Serial.println("-> Llenar dispensadores de agua y cuidado (VALVULA=ON)");
  } else {
    Serial.println("-> Nivel suficiente (VALVULA=OFF)");
  }
}

void announceHxReadyChange(bool ready) {
  if (!ready) Serial.println("ALERTA: HX711 no listo");
  else Serial.println("HX711 listo");
}

void setup() {
  pinMode(PIN_RELAY, OUTPUT);
  digitalWrite(PIN_RELAY, LOW);

  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Sistema Galpon - HX711 + unica valvula (sin calibracion)");
  Serial.print("Umbral cuentas: ON<");
  Serial.print(THRESH_ON_COUNTS);
  Serial.print(" OFF>=");
  Serial.println(THRESH_OFF_COUNTS);

  scale.begin(PIN_HX_DOUT, PIN_HX_SCK);
  // Sin set_scale. Solo tare para referenciar en 0
  scale.tare(); // quita la carga, luego llama tare
}

```

```

void loop() {
  unsigned long now = millis();
  if (now - lastSample < SAMPLE_MS) return;
  lastSample = now;

  // Si el HX711 no está listo: desactiva válvula y reporta
  bool ready = scale.is_ready();
  if (ready != lastHxReady) {
    announceHxReadyChange(ready);
    lastHxReady = ready;
  }

  if (!ready) {
    setValve(false);
    Serial.print("NA ");
    if ((++printed % 40) == 0) Serial.println();
    return;
  }

  // Lee valor cero-referenciado (cuentas)
  // get_value() = promedio - offset (por tare). Sin escala aplicada.
  long val = scale.get_value(5);
  long aval = labs(val); // magnitud (segun cableado puede ser negativa)

  // Stream: imprimir SIEMPRE cada 1 s, separado por espacios
  Serial.print(aval);
  Serial.print(' '); // separador por espacio
  if ((++printed % 40) == 0) Serial.println(); // salto opcional

  // Control con histéresis: ON si aval < THRESH_ON; OFF si aval >= THRESH_OFF
  if (valveOn) {

```

```

    if (aval >= THRESH_OFF_COUNTS) setValve(false);
  } else {
    if (aval < THRESH_ON_COUNTS) setValve(true);
  }

  // Anunciar solo si cambi3
  if (valveOn != lastValveOn) {
    lastValveOn = valveOn;
    announceValveChange(valveOn);
  }
}

```

C3digos para monitoreo sanitario

```

// Pines
const byte PIN_AO = A0; // Salida anal3gica del sensor de gas
const byte PIN_DO = 2; // Salida digital (LOW = alarma > umbral)
const byte LED_OK = 6; // LED verde
const byte LED_ALERT = 7; // LED rojo

// Histeresis sobre la lectura analogica (0..1023)
const int TH_HI = 700; // sube a ALERTA si AO >= 700
const int TH_LO = 600; // vuelve a OK si AO <= 600

bool hazard = false;

void setup() {
  pinMode(PIN_DO, INPUT); // DO entrega HIGH/LOW desde el sensor
  pinMode(LED_OK, OUTPUT);
  pinMode(LED_ALERT, OUTPUT);
  digitalWrite(LED_OK, HIGH); // estado inicial: OK
  digitalWrite(LED_ALERT, LOW);
  Serial.begin(115200);
}

```

```

delay(200);
Serial.println(F("Demo VOC (proxy) - Gas Sensor"));
Serial.println(F("AO=A0 (0..1023), DO=D2 (LOW = alarma)"));
}

void loop() {
  int ao = analogRead(PIN_AO);    // 0..1023 ~ 0..5V
  int doState = digitalRead(PIN_DO); // HIGH/LOW (LOW=alarma)

  // Lógica combinada: DO manda; si no, usamos AO con histeresis
  if (doState == LOW) {
    hazard = true;           // sobre umbral digital
  } else {
    if (!hazard && ao >= TH_HI) hazard = true;
    else if (hazard && ao <= TH_LO) hazard = false;
  }

  // Actualiza LEDs
  digitalWrite(LED_ALERT, hazard ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(LED_OK, hazard ? LOW : HIGH);

  // Telemetría
  Serial.print(F("AO=")); Serial.print(ao);
  Serial.print(F(" DO=")); Serial.print(doState == LOW ? F("LOW(ALERTA)") :
F("HIGH(OK)"));
  Serial.print(F(" Estado=")); Serial.println(hazard ? F("ALERTA") : F("OK"));

  delay(200);
}

```

Referencias

- Alpizar, A. (2021). Controlador de nivel de agua en tanque con sensor ultrasonico y Arduino. *Sysadmins de Cuba*. Obtenido de <https://www.sysadminsdecuba.com/2020/03/controlador-de-nivel-de-agua-en-tanque-con-sensor-ultrasonico-y-arduino/>
- Andrés. (2021). CONTROL DE NIVEL AUTOMÁTICO. *YouTube*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=giJhmu_tNrk
- Antequera, M. (2020). Técnicas de visión por computador para calibración, localización y reconocimiento. (*Doctoral dissertation, Universidad de Málaga*)., 1-39. Obtenido de https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/22879/TD_LOPEZ_ANTEQUERA_Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castillo-Quiroz, G., Cruz-Garrido, A., Gonzaga-Licon, E., & Luna-Mejía, E. (2019). Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en granja avícola. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 7(14), 122-136. <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.011>
- Chala, E. (2024). Dispensador de Comida para mascotas con Arduino. *vistronica*. Obtenido de <https://www.vistronica.com/blog/post/Arduino-disipador-de-comida-para-tu-perro.html>
- Chinaeke-Ogbuka, I., Anoliefo, E., Ajibo, A., & Ogbuka, C. (2021). Design and Implementation of an Automated Feeding System for Poultry Farms. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. <https://doi.org/https://doi.org/10.46254/eu04.20210336>.
- Chivarov, N., Dimitrov, K., & Chivarov, S. (2023). Algorithm for autonomous management of a poultry farm by a cyber-physical system. *Animals*, 3252.

[https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ani13203252​;contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ani13203252​;contentReference[oaicite:0]{index=0}).

- Edwan, E., Qassem, M., Al-Roos, S., Elnaggar, M., Ahmed, G., Ahmed, A., & Zaqout, A. (2020). Design and Implementation of Monitoring and Control System for a Poultry Farm. *International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)*, 44-49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICPET51420.2020.00017>.
- Efendiev, B., Shuganov, V., Kantiev, Z., & Shogenov, A. (2024). Ways to solve automation problems in meat poultry farming. *BIO Web of Conferences*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/bioconf/202413005007>
- Enriko, A., & Putra, R. (2021). Automatic Temperature Control System on Smart Poultry Farm Using PID Method. *Green Intelligent Systems and Applications*. <https://doi.org/https://doi.org/10.53623/gisa.v1i1.40>.
- Forero-Torres, F. (2024). Inteligencia artificial en el análisis de datos para la mejora de procesos productivos en empresas del sector alimenticio en Colombia. [*Monografía de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD*]. *Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI)*, 1-50. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/62436/feforerot.pdf?sequence=3>
- Huanhong, K., Thomya, S., Teerakitchotikan, P., Lumsangkul, C., Tangpao, T., Prasad, S., & Somman, S. (2023). Volatile organic compound emissions in free-range chicken production: Impacts on environment, welfare and sustainability. *AIMS Agriculture and Food*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3934/agrfood.2023058>.
- Islam, M., Tonmoy, S., & Quayum, S. (2019). Design and implementation of Automated poultry farm with Distinguish Features. *International Conference on Robotics, Electrical and*

Signal Processing Techniques, 273-276.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICREST.2019.8644464>.

Islam, M., Tonmoy, S., Quayum, S., Sarker, A., Hani, S., & Mannan, M. (2019). Design and implementation of Automated poultry farm with Distinguish Features. *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, 273-276.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICREST.2019.8644464>

Landge, P., Kiplinger, G., Sakhare, V., Rajankar, P., & Shinde, P. (2024). Smart Poultry Farm Automation. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.48175/ijarsct-17233>.

Lorencena, M., Southier, L., Casanova, D., Ribeiro, R., & Teixeira, M. (2020). A framework for modelling, control and supervision of poultry farming. *International Journal of Production Research*, 3164 - 3179.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630768>.

Lorencena, M., Southier, L., Casanova, D., Ribeiro, R., & Teixeira, M. (2020). A framework for modelling, control and supervision of poultry farming. *International Journal of Production Research*,, 3164-3179.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630768>.

Natho, P., Chamuthai, L., Boonying, S., & Tantidontanet, N. (2023). A Prototype Platform for Automated Chicken Feeding Control with an Embedded System. *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.62527/ijasce.5.1.106>.

Neethirajan, S. (2021). Automated Tracking Systems for the Assessment of Farmed Poultry.

Animals : an Open Access Journal from MDPI.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ani12030232>.

Smith, B., & Miguel, F. (2023). Balancing the Picture: Debiasing Vision-Language Datasets with

Synthetic Contrast Sets. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.15407>

Thoma, D., Reji, C., Joys, J., & Jose, S. (2020). Automated Poultry Farm with Microcontroller

based Parameter Monitoring System and Conveyor Mechanism. *International*

Conference on Intelligent Computing and Control Systems, 639-643.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9120982>.

Thomas, D., Reji, C., Joys, J., & Jose, S. (2020). Automated Poultry Farm with Microcontroller

based Parameter Monitoring System and Conveyor Mechanism. *4th International*

Conference on Intelligent Computing and Control Systems, 639-643.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9120982>

