

Ganadería de precisión, una revisión a los avances dentro de la avicultura enfocados a la crianza de pollos de engorde

Ronald Juárez¹ , Cristian Pinzón² 

¹Estudiante, ²Docente, Universidad Tecnológica de Panamá. Ciudad de Santiago. Provincia de Veraguas, República de Panamá. Centro Regional de Veraguas.

¹ronald.juarez@utp.ac.pa; ²cristian.pinzon@utp.ac.pa

DOI: 10.33412/pri.v%v.%i.3652



Resumen: La producción avícola es una de las industrias con mejor desarrollo dentro del sistema agropecuario panameño, sin embargo, para los próximos años se espera un crecimiento en la demanda de alimentos causado por el crecimiento de la población. Esto ha fomentado la aparición de un mayor número de productores y a potenciado la producción animal intensiva. Ante esta problemática ha surgido un nuevo campo de investigación denominado ganadería de precisión (PLF). Esta es definida como la capacidad de monitorizar y dar seguimiento en tiempo real al bienestar, producción, reproducción, impacto ambiental y salud del ganado, empleando nuevas tecnologías en Inteligencia artificial, automatización, internet de las cosas y sistemas de información. Este artículo tiene por objetivo ser una revisión sobre los fundamentos de la ganadería de precisión en la crianza de pollos de engorde, reuniendo trabajos de actualidad y sus tendencias de trabajo, desde bases de investigación bibliográficas, con miras a la adopción de este campo en los proyectos futuros dentro de Panamá. Como resultado de esta revisión se encontró que países europeos como Bélgica, Países Bajos, Reino Unido e Italia tienen la mayor cantidad de investigadores y trabajos relacionados con esta rama, siendo proyectos basados en sensores, machine learning, visión artificial y análisis del sonido las actuales tendencias de investigación. También se encontró que los dilemas éticos relacionados con el cuidado y bienestar animal dentro de este campo son un tema de discusión concurrente.

Palabras claves: automatización, bienestar animal, ética, ganadería de precisión, gestión, machine learning, pollos de engorde, sensores, visión artificial.

Title: Precision livestock farming, a review of the advances in poultry farming focused on broiler breeding.

Abstract: Poultry production is one of the industries with the best development within the Panamanian agricultural system, however, for the next few years a growth in food demand caused by population growth is expected. This has led to solutions such as encouraging the emergence of a greater number of producers and boosting intensive animal production. Faced with this problem, a new field of research has emerged called Precision Livestock Farming (PLF), which is defined as the ability to monitor and track in real time the welfare, production, reproduction, environmental impact and health of livestock, using new technologies in artificial intelligence, automation, internet of things and information systems. This article aims to be a review on the fundamentals of precision livestock farming in broiler breeding, gathering current works and their work trends, from bibliographic research bases, with a view to the adoption of this field in future projects within Panama. As a result of this review, it was found that European countries such as Belgium, Netherlands, United Kingdom and Italy have the largest number of researchers and works related to this field, being projects based on sensors, machine learning, artificial vision and sound analysis the current research trends. Ethical dilemmas related to animal care and welfare within this field were also found to be a concurrent topic of discussion.

Keywords: automation, animal welfare, ethics, precision farming, management, machine learning, broilers, broiler chickens, sensors, artificial vision.

Tipo de artículo: revisión.

Fecha de recepción: 24 de agosto de 2022.

Fecha de aceptación: 1 de febrero de 2023.

1. Introducción

Según las estimaciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, para el año 2 019, la población panameña ha reportado un crecimiento del 24.0% [1]. Este aumento plantea la necesidad de aumentar la producción de alimentos que logren suplir las necesidades nutricionales básicas de las personas.

Para el año 2 050 se espera que la producción de carne aumente en 200 millones de toneladas, siendo el principal producto de consumo dentro de países en vías de desarrollo [2].

Esto conlleva a que los productores deban intensificar su rendimiento en un 70.0% en los próximos años para cubrir esta demanda [3][4].

En Panamá la producción avícola se mantiene como una de las actividades más importantes del sector agropecuario, llegando a consolidarse como una industria equiparable a la de muchos países desarrollados.

Para el año 2 019 se logró un aumento del 17.6 % en la cría de gallinas y pollos de engorde respecto al año 2 015, donde destacan provincias como Panamá, Coclé, Panamá Oeste y Veraguas como las principales productoras de esta carne [1].

Para abarcar la demanda alimenticia causada por el crecimiento de la población, se plantea la aparición de nuevos productores que ayuden a cubrir esta necesidad, sin embargo, otra alternativa que está siendo aplicada es la explotación de la producción animal intensiva, donde se incrementa la cantidad de animales criados por ganadero [5].

Esta tendencia propicia que se pierda la posibilidad de brindar atención individual a cada ave, reduciendo la capacidad realizar los ajustes necesarios dentro de la parvada para garantizar sus necesidades y cuidados de supervivencia [6].

La crianza de pollos de engorde presenta una serie de cuidados relacionados con el manejo de las condiciones climáticas del lugar, tales como la humedad, temperatura, calidad del aire, control sobre la ventilación, diseño del recinto y calidad de la cama, esto propicia animales con una edad de sacrificio más temprana al llegar a los pesos de producción final establecidos [7].

Es por esto que actualmente la sociedad está anuente a preservar el bienestar animal, así como la salud de los trabajadores avícolas que tienden a sacrificar la administración personal de su granja a expensas de una mayor cantidad de animales [8].

Esto termina propiciando la aparición de enfermedades provocadas por bacterias, parásitos o virus, así como trastornos fisiológicos en el animal [9], reduciendo la capacidad del avicultor para lograr sus objetivos económicos, ambientales y sociales [6].

Con el avance de campos como la Inteligencia Artificial (IA), *Big Data*, Robótica, Computación en la nube, Internet de las cosas (IoT) y el acceso a sensores de alta calidad a un bajo coste, han motivado la aparición de proyectos enfocados al manejo, control y gestión en tiempo real del ganado.

La finalidad de estos proyectos es reducir la carga laboral del avicultor, asegurando el bienestar individual de cada animal dentro de la ganadería intensiva; esta tendencia de investigación se ha denominado en la literatura inglesa como "*Precision Livestock Farming (PLF)*" [10].

Esta terminología se ha establecido y utilizado en proyectos internacionales [11], [12], [13], facilitando la comunicación entre los investigadores de diversas disciplinas para crear correspondencia con los trabajos realizados [10].

Sin embargo, en Panamá aún no se adopta esta nomenclatura, debido a la poca bibliografía en español de actualidad a la que se tiene acceso, provocando un aislamiento entre las investigaciones, sin tener un campo de desarrollo en común, el cual avance junto a los nuevos desarrollos tecnológicos e implemente soluciones dentro de la ganadería panameña.

El objetivo de este artículo es desarrollar una revisión bibliográfica, basado en trabajos internacionales de actualidad que permita dar a conocer el enfoque dentro de la rama investigativa llamada "*Precision Livestock Farming (PLF)*", introduciéndola al sector agropecuario panameño, con la finalidad de identificar sus tendencias investigativas, áreas del conocimiento involucradas e implicaciones en la crianza de pollos de engorde.

Este documento se estructura de la siguiente manera: la sección inicial presenta una introducción a la temática objeto de

investigación; la segunda sección aborda los materiales y métodos utilizados, incluyendo la metodología seguida y el contenido literario; en la tercera sección se muestran los resultados alcanzados; y finalmente, la última sección contiene las conclusiones derivadas de la investigación.

2. Materiales y métodos

A continuación, se detallan los recursos y procedimientos de recolección de datos empleados en este artículo, así como la identificación y desarrollo de las principales áreas de investigación en las que se trabaja actualmente la ganadería de precisión.

2.1. Búsqueda bibliográfica

La recopilación de trabajos bibliográficos se realizó empleando las bases de datos: *ScienceDirect* y *IEEEExplore*, en donde se consultaron los artículos utilizando palabras claves como "*Precision livestock farming*", "*Farming poultry farms*", "*Precision livestock farming poultry farms*", filtrando la búsqueda en artículos de investigación y de revisión perteneciente al rango de años entre el 2017 y 2021.

La consulta realizada arrojó 402 artículos dentro de la base de datos *ScienceDirect* y 39 documentos para *IEEEExplore*, donde se identificaron y seleccionaron aquellos trabajos enfocados al cuidado de pollos de engorde, dando como resultado 35 trabajos elegidos.

Los artículos seleccionados se analizaron tomando en cuenta las siguientes preguntas de investigación:

- ✓ ¿Qué aporte realiza la investigación descrita a la ganadería de precisión?
- ✓ ¿El artículo se encuentra enmarcado dentro del campo de la ganadería de precisión u otras ramas asociadas?
- ✓ ¿Se describe la implementación de nuevas tecnologías?
- ✓ ¿Los artículos establecen nuevas tendencias de investigación dentro del campo?

Algunos artículos de años anteriores a 2017 se incluyeron dentro de este trabajo debido a su relevancia en el establecimiento de la ganadería de precisión como campo de investigación.

2.2. Principales cuidados en la cría de pollos de engorde

La crianza de pollos de engorde, bajo la tendencia propuesta por la ganadería de precisión, propone nuevos retos y cuidados en cuanto a las condiciones de las aves, entre estas se encuentran: el estrés provocado por las altas temperaturas del ambiente, la cantidad de animales dentro del recinto, enfermedades, manejos inadecuado del lugar de cría y un bajo saneamiento del corral [14].

Uno de los trabajos de la Universidad de Chung-Ang, tenía por objetivo investigar el efecto del estrés por calor y la alta densidad de población, sobre el rendimiento del crecimiento, la

calidad de la carne de la pechuga y la función de barrera intestinal en pollos de engorde [14].

Como resultado luego de dos semanas, los investigadores encontraron que el estrés por calor y la alta densidad de población disminuyen el rendimiento de los pollos pero no afecta negativamente en la calidad de la carne de pechuga [14].

Los olores en los galpones de crianza para pollos de engorde provocados por excrementos de las aves, humedad y basura, los cuales se acumulan sobre la superficie de la cama del recinto y se mal manejan, contribuyen a la aparición de gases nocivos como el amoníaco, actividad microbiana y la molestia de las comunidades cercanas [15].

En este sentido, se desarrolló una revisión con el objetivo de describir cómo las condiciones dentro de la cama influyen en la formación y difusión de olores, considerando las estrategias de manejo del cobertizo influyen en las condiciones de la cama, resumiendo los olores identificados en granjas de pollos de engorde [15], obteniendo como resultado una lista de más de 130 olores relacionados con propiedades como el valor umbral del olor, el carácter del olor, la constante de la ley de Henry, la solubilidad en agua y la presión de vapor [15].

Una estudio Coreano del año 2003, se concentró en el análisis del clima interno en galpones con ventilación mecánica y natural, como resultado obtuvieron que la temperatura máxima interna promedio fue de 10.4° por encima de lo recomendado en épocas de verano empleando ventilación mecánica, mientras con la ventilación natural fue de 14° grados superior [16].

Los autores concluyen en base a sus resultados que: “La visualización del flujo de aire indicó que el aire entrante a través de las rejillas de ventilación de entrada descendía justo después de entrar en el edificio, por lo que no se mezclaba lo suficiente con el aire caliente interno antes de llegar a la ubicación de los pollos.

Se descubrió que el uso de almohadillas de refrigeración y ventiladores de niebla dificultaba mucho el control de la humedad en la nave de pollos de engorde con ventilación mecánica” [16].

2.3. Estableciendo la ganadería de precisión o Precision Livestock Farming (PLF)

En el año 2017 el autor Daniel Berckmans publica el artículo titulado: “General introduction to precision livestock farming” [10], donde abarca los principios, fundamentos e implementación de este concepto, estableciéndolo como una ciencia multidisciplinaria, adoptando la terminología con la finalidad de crear un marco común en los trabajos de investigación [10].

En su documento, este autor define el objetivo general de la ganadería de precisión como la capacidad de monitorizar y de dar seguimiento en tiempo real al bienestar, producción, reproducción, impacto ambiental y salud del ganado, aprovechando el desarrollo en campos como la visión artificial, análisis del sonido, redes de sensores e ingeniería de procesos, para tener un entorno automatizado.

Esto se complementa con el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) para notificar a los ganaderos cuando los animales necesitan atención, proporcionando una herramienta de apoyo a la toma de decisiones [10].

Los sistemas basados en la ganadería de precisión están cimentados sobre el esquema llamado “control basado en modelos” (figura 1) como forma de gestión, donde se predice cómo reaccionará la salida del proceso (variable a controlar), ante una variación de las entradas utilizadas como control [10].

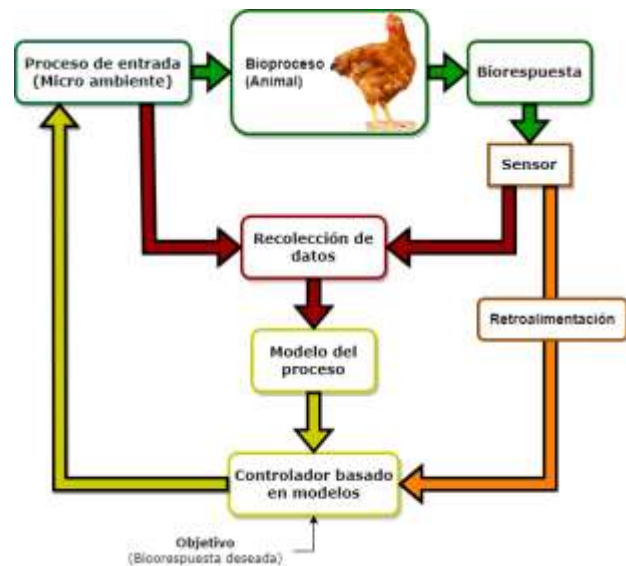


Figura 1. Diagrama de seguimiento y gestión de procesos biológicos basado en modelo propuesto por Daniel Berckmans [10].

En otro artículo se plantea la ganadería de precisión como una aplicación de la ingeniería de procesos, donde los datos generados a lo largo del tiempo en los puntos de producción, son utilizados para la retroalimentación del sistema, pudiendo realizar modificaciones de forma automatizada, formando un bucle de control cerrado [17].

En 2003 se realizó la conferencia sobre la Ganadería de precisión en la ciudad de Berlín, donde se habló acerca de los organismos vivos (animales) como un sistema denominado CITD, cuyo significado es ser complejo e individualmente diferente, variable en el tiempo y dinámico [10].

El autor Daniel Berckman comenta que tratar los animales como un sistema requiere mantener en vigilancia las diferentes respuestas que puedan tener ante un estímulo externo, traduciéndose en variables que puedan ser intervenidas para alterar sus estados futuros [10], [17].

Las condiciones para cumplir con un sistema de seguimiento, gestión y control de tipo PLF, se establecieron en el año 2002 dentro del artículo “Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming” [18] y son:

- I. Las variables de los animales (temperatura corporal, respiración, alimentación, comportamientos rutinarios, sonidos generados, clima, ingesta de alimentos, enfermedades, emisiones de gases contaminantes) se deben medir y analizar continuamente.
- II. En cada momento se debe tener una predicción fiable (una expectativa) sobre los cambios en el valor de las variables del animal, es decir, la respuesta de este a los estímulos del entorno, permitiendo identificar las actividades que realizan los animales para saber cuándo está ocurriendo algo anormal.
- III. Las predicciones y mediciones obtenidas deben ser analizadas por un algoritmo que pueda supervisar y gestionar los animales de forma automática, brindando seguimiento al bienestar o tomando medidas de control.

Estos principios son a su vez la mejor manera de tratar el carácter variable en el tiempo del organismo CITA, ya que se realizan mediciones continuas que son empleadas en predicciones mediante análisis matemáticos o algoritmos que se adapten a los individuos y que esto se pueda utilizar en tiempo real para potenciar el cuidado animal [18].

Producto de las mediciones continuas, se genera una gran cantidad de datos, por lo que la transmisión de estos puede resultar costoso en tiempo, dinero y energía [10].

La aparición del Internet de las Cosas (IoT) y el desarrollo logrado en tecnologías de comunicación (redes móviles, telecomunicaciones e Internet) han contribuido al diseño y aplicación de proyectos PLF, donde se busca transmitir información relevante del sistema que permita al ganadero dar un seguimiento sin estar físicamente presente en el lugar; esto por medio de aplicaciones móviles y plataformas digitales [19].

Los autores afirman que en la práctica, este nuevo paradigma es capaz de cumplir los objetivos de sostenibilidad propuestos, como lo son: un menor desperdicio de insumos y alimentos, minimización del impacto al ambiente, eficiencia económica, seguridad alimentaria y el cumplimiento del bienestar animal [17].

Mejorar la trazabilidad en la gestión del ganado también es uno de estos objetivos planteados, ya que se promete producir un intercambio de información durante la estancia de vida de los animales presentando virtudes como [19]:

- ✓ Los distribuidores de piensos pueden mejorar sus productos, aprovechándose de las estadísticas en los perfiles de alimentación de las granjas.
- ✓ Las fincas se pueden apoyar en los datos estadísticos de otras explotaciones para optimizar el consumo de alimentos de los animales.
- ✓ Las granjas pueden producir o abastecerse de animales basándose en parámetros como el peso y su conformación física.
- ✓ Toda información estadística generada puede ser utilizada por gobiernos o empresas para la toma de decisiones y evaluaciones comparativas, para dirigir el sector.

Sin embargo los autores plantean que para lograr una verdadera organización dentro de la ganadería de precisión, se necesita de la colaboración entre diversos campos de investigación como lo son técnicos de laboratorios, científicos de animales, analistas de datos e ingenieros así como afrontar los problemas éticos que conlleva el trabajar con seres vivos [6].

2.4. Ética y viabilidad detrás de la ganadería de precisión

A pesar de las promesas de los sistemas PLF sobre brindar un seguimiento, control y asegurar el bienestar de los animales, existen investigadores que discuten acerca de las implicaciones éticas y aportan argumentos críticos sobre el impacto en las relaciones hombre-animal dentro de la ganadería industrial convencional.

El autor P. Stevenson [8] establece que la ganadería de precisión se ejecuta principalmente dentro del sector de crianza intensiva, por ello, una de las más grandes preocupaciones propuestas es que este tipo de sistemas potencie aún más esta forma de producción.

Si bien es cierto, los animales carecen de la capacidad de comunicar sus necesidades y cuidados a un lenguaje humano, los críticos del PLF se basan en la teoría del cuidado que dictamina “que cualquier grupo de animales que sea criado por los seres humanos se trate de forma cuidadosa” (asegurando su bienestar animal) [20], definiendo entonces que en la ética del cuidado se debe reconocer que el “otro tiene una naturaleza propia que debe ser respetada” permitiendo un razonamiento sobre la comprensión y apreciación de lo que es diferente a uno mismo [21].

Partiendo de esta premisa, I. Werkheiser [17] plantea que cuando un ganadero se compromete a criar animales, que no dependen de sí mismos, asume la responsabilidad y el deber de asegurarles ciertos cuidados y atenciones que mejoren su calidad de vida, esto en muchas ocasiones crea una relación de compañerismo humano-animal.

Si los sistemas PLF son diseñados sin tomar en consideración este escenario, se corre el riesgo de producirse una desanimalización donde se transforma a los animales en una unidad de producción, objeto, artefacto o una mera fuente de datos, impulsado por el propósito de obtener un alto rendimiento y una gran tasa de crecimientos [17].

También se plantea que los ganaderos pasen a ser un elemento imperceptible dentro de un sistema de gestión, donde no se le toman en cuenta sus experiencias, forma de ser, historias de vida y circunstancias personales [20], llegando incluso a presentar bajas en los puestos de trabajo dentro de las granjas debido a que los cuidados y controles se dan de forma automatizada [17].

Se debe concientizar que son los ganaderos quienes serán capaces de controlar y comprender los sistemas PLF que se

incorporen, siendo estos mismos quienes deban soportar los resultados inesperados que surjan [20].

Una última preocupación planteada es la comercialización de los sistemas PLF, donde actualmente, quienes tengan el capital pueden invertir, de manera incierta, en las limitadas opciones disponibles [17], esto debido a que gran parte de los desarrollos se encuentran en fase de prototipo, sin incluir dentro de las investigaciones, a empresas fabricantes o someterse a pruebas comerciales que denoten la fiabilidad a las partes interesadas [22].

2.5. Sensores, principio de la ganadería de precisión

Las primeras implementaciones de la ganadería de precisión se realizaron empleando sensores y dispositivos electrónicos que recolectaban información de forma continua a lo largo del tiempo, evitando la recolección manual y la pérdida de tiempo por parte de los ganaderos que supone la cría de muchos animales.

Además, la cantidad de datos generados por las lecturas de sensores permite realizar diversos análisis y propiciar una toma de decisiones acertada, ya que se tiene un valor directo sobre la variable que se desea monitorizar [20],[23].

En este sentido se han encontrado trabajos como el propuesto por Teddy Gunawan [24] donde tuvieron por objetivo crear una granja avícola inteligente, empleando un sistema operativo en tiempo real (RTOS) dentro de una placa Arduino, junto a sensores como el DHT-22 para la medición de temperatura/humedad y el MQ-135 para las lecturas de los niveles de amoníaco y dióxido de carbono dentro del recinto, variables que fueron controladas por bombillas y ventiladores.

Los resultados presentaron un buen control y monitorización empleando la librería FreeRTOS por sobre sistemas Arduino tradicionales.

Investigadores de la Universidad Islámica de Malaysia [25], también han desarrollado su propio sistema de granja avícola inteligente basándose en la implementación de sensores, electrónica y placas con microcontroladores embebidos.

Haciendo uso del concepto Maestro-Eslavo, buscaron monitorizar variables como la temperatura, humedad, niveles de amoníaco y el flujo del aire, para ello utilizaron 2 sondas de temperatura, junto a sensores DHT22 y MQ135.

Estos se conectaron al microcontrolador ATmega328 conformando así un nodo esclavo, este envía la información mediante radiofrecuencia hacia el nodo Maestro conformado por un Arduino Mega, un módulo Wifi ESP8266 y varios de radiofrecuencia (HC-12 RF).

Como resultado de esta investigación, obtuvieron que el sistema es capaz de supervisar y controlar las condiciones de la granja de manera modular mediante radiofrecuencia, logrando el parámetro de salida que fueron las distintas velocidades de los ventiladores; además, lograron el desarrollo de un sistema con una buena eficiencia energética y un reducido costo de instalación [25].

2.6. Llegada del aprendizaje automático a la avicultura

La implementación de múltiples sensores dentro de las granjas avícolas genera una cantidad de datos estructurados que pueden ser analizados por técnicas de *Machine learning*, ya que son valores etiquetados correspondientes a una variable medida.

Esto hace que sea posible aplicar técnicas de aprendizaje supervisado, pero también existen mediciones no estructuradas que deben ser analizadas mediante algoritmos de agrupación, haciendo uso del aprendizaje no supervisado [26].

Los trabajos encontrados se han centrado en asegurar la salud y bienestar de los animales, esto mediante el control del clima, alimentación, comportamiento animal y planes de acción dentro de la granja.

Investigadores liderados por Darlan Klotz utilizaron redes de memoria de corto plazo (LSTM) en combinación con algoritmos genéticos para estimar planes de acción mediante los valores obtenidos por sensores de variables como la temperatura y humedad.

Con esto, lograron obtener un *software* que interconecta múltiples granjas avícolas permitiendo la recolección de datos y propagación de los modelos de predicción a través de la red mediante un sistema central, llegando a aumentar un 5.0% el rendimiento del especialista más productivo [27].

La infección por coccidios afecta el intestino animal, dentro de los sistemas de cría de pollos de engorde es muy común debido a la alta densidad animal.

Federica Borgonovo y su equipo encontraron una relación entre los datos de la calidad del aire y el número de ooquiste, por ello crearon un dispositivo basado en un sensor que recolecta valores del estado del aire dentro de la granja, donde utilizaron un algoritmo de *k* vecinos más cercanos (*KNN*) para estimar la probabilidad cuando un número de ooquiste superase un umbral preestablecido.

De esta manera lograron identificar precozmente esta infección y demuestran la viabilidad del proyecto para la construcción de un sistema de vigilancia en tiempo real que mejore la salud de los animales [9].

La temperatura y la humedad relativa detectadas por sensores siguen siendo parámetros usados para medir las condiciones ambientales de las granjas.

Un estudio de la Universidad Politécnica de Madrid utilizó estos indicadores como variables predictoras junto al método de bosques de regresión cuantílica para generar modelos de crecimiento, bienestar y mortalidad que obtuvieron una precisión global del 81.0% donde el peso, problemas de patas y las defunciones fueron las características objetivo a estimar.

Los autores proponen este sistema para ayudar en la toma de decisiones enfatizando la capacidad de proporcionar recomendaciones que ajusten las condiciones ambientales de la granja cuando no sean óptimos [28].

2.7. Vigilancia mediante visión artificial

Nuevos enfoques de investigación se han centrado en la utilización de cámaras de alta definición o infrarrojas, que generan una gran cantidad de datos en tiempo real, lo que propicia la implementación de tecnologías de reconocimiento, detección y clasificación mediante el entrenamiento de redes neuronales, siendo las de tipo convolucional (CNNs) las más populares actualmente para este tipo de tareas [26].

El comportamiento de los pollos de engorde dentro de los comederos puede considerarse como una medida en la calidad del bienestar de las aves.

En este sentido, investigadores de la Universidad de Shandong construyeron un sistema de visión por computador para monitorizar el comportamiento alimenticio de los pollos, donde utilizaron redes neuronales convolucionales (CNNs) para predecir la probabilidad de clasificación y reconocimiento en imágenes a color y de profundidad, obtenidas por un sensor Kinect, llegando a un 99.1% dentro del resultado experimental de los datos de prueba completos pasadas 3 000 iteraciones, obteniendo también un 96.4% en la precisión media de clasificación y un recuerdo medio de clasificación de 95.8% [29].

El estrés térmico en pollos de engorde puede suponer altos costos en el funcionamiento de los sistemas de ventilación si no se identifican los momentos en que son necesarios.

Bajo este problema, el trabajo de Danilo F. López [30] y su equipo se basó en proponer un índice que estimase el confort térmico de los pollos de engorde, basándose en analizar las aglomeraciones de las aves y su índice clúster calculado por medio de variables medidas a través del procesamiento y análisis de imágenes digitales obtenidas de una cámara de vigilancia colocada en el techo de la granja.

El *software* fue desarrollado utilizando Matlab junto a técnicas de morfología matemática teniendo como resultados que las aves se agrupan menos en condiciones de alta temperatura y que el índice de aglomeración, pudo discriminar las formas en que se aglomeran las aves dependiendo de la temperatura.

Según los autores, este *software* junto a un sistema de monitoreo puede ser utilizado para detectar el estrés térmico temprano de los pollos.

Otro estudio se centró en evaluar los patrones de actividad y ocupación presentados en nueve ciclos de crecimiento en manadas de pollos de engorde utilizando cuatro cámaras Fancom BV, el *software* comercial EyeNamic™ y un sistema de análisis de imágenes.

En conjunto generan una visualización del suelo que se traduce en índices de actividad y ocupación de las aves, el cual junto a evaluaciones realizadas por expertos humanos, consiguieron descubrir relaciones estadísticas entre el tiempo que las aves pasaron en alerta durante el crecimiento, proporcionando un porcentaje sobre aquellas que mostraron problemas de lesiones en las almohadillas de las patas y quemaduras en los corvejones [31].

En Bélgica, el investigador Mohammadamin Kashiha [32] también utilizó el sistema comercial EyeNamic™ junto a tres cámaras de vigilancia continua y un modelo de predicción lineal en el tiempo, con el objetivo de identificar el mal funcionamiento en las líneas de alimentación, calefacción, ventilación y bebida.

El *software* determinó el número de píxeles de los objetos en relación con el fondo, esto se empleó para calcular el índice de distribución en respuesta a la entrada de luz.

Los resultados de este estudio mostraron que este método podía informar del 95.2% de los eventos descritos anteriormente.

Siguiendo en el análisis del comportamiento de los pollos, investigadores de la Universidad Agrícola del sur de China emplearon imágenes de video de alta definición que fueron usadas para el entrenamiento y clasificación por medio de redes neuronales profundas (DNN), específicamente *Deeplabcut*.

Su propósito fue el identificar el esqueleto de la postura que tiene un ave usando sus puntos característicos, logrando identificar las partes específicas del cuerpo empleando un modelo bayesiano ingenuo (NBM).

Obtuvieron como resultado precisiones de 75.1% en posturas de pie, 51.3% caminando, 62.7% corriendo, 93.6% comiendo, 96.2% descansando y 92.5% acicalándose, proporcionando un método no invasivo en la crianza de pollos de engorde [33].

En Indonesia, J. Khairunissa junto a su equipo, aprovecharon el algoritmo *Multi-Object Tracking* (MOT), el modelo de detección de objetos pre entrenado *Single Shot Multibox Detector* (SSD) y el algoritmo de seguimiento del centroide como método de asignación de identidad, sobre imágenes de pollos de engorde obtenidas de las cámaras de vigilancia.

El objetivo fue detectar el movimiento de varias aves durante un período determinado, obteniendo una precisión del 60.4% para el modelo que permitía analizar el comportamiento y determinar el bienestar de los pollos [34].

El virus de la influenza aviar H5N2 (R381/2008) provoca pérdidas a los criadores de pollos de engorde, pero más allá, llega también a ser una amenaza para los seres humanos.

Es por esto que investigadores como X. Zhuang y su equipo utilizaron tecnologías de visión artificial en aves inoculadas con este virus y aves sanas, con la finalidad de analizar las posturas de las aves extrayendo ciertas características claves que fueron empleadas para la clasificación automática [35].

En este proyecto se usó el algoritmo de agrupación *K-means*, el modelo de elipse para la segmentación de imágenes, el método de adelgazamiento para obtener la estructura topológica del ave y el modelo de máquina de vectores de apoyo (SVM) con la función de núcleo POLY (polinomial) para separar los pollos de engorde del fondo de la imagen.

Obtuvieron como resultado un modelo con una tasa de precisión del 99.1%, demostrando una buena capacidad de generalización que permite la identificación inteligente del estado de salud de los pollos [35].

El seguimiento de los pollos dentro de las explotaciones avícolas es una de las tareas más utilizadas para detectar comportamientos anormales.

Un estudio propuso un sistema de rastreo automático basado en el análisis de video en línea, implementando una estructura de redes convolucionales basadas en la arquitectura *AlexNet* utilizando un conjunto de 312 videos y 12 073 fotografías de entrenamiento, junto a 56 videos y 5 083 imágenes de prueba.

Los investigadores nombraron este modelo como *TBroiler*, realizando pruebas frente a otros algoritmos como el *MeanShift* (MS), el de aprendizaje multitarea (MIL), el filtro de correlación Kernel (KCF), Filtro de Correlación Adaptativo (ACF) y Seguimiento-Aprendizaje-Detección (TLD).

El sistema *TBroiler* ofreció una evaluación de rendimiento de seguimiento mixto de 73.0%, con una velocidad de procesamiento de fotogramas por segundo superior en un 30.5% a varios modelos, lo cual fue considerado como una medida aceptable. [36].

2.8. Análisis del sonido

Los animales se comunican mediante vocalizaciones que denotan sus estados causados por eventos internos o externos que alteran su comportamiento normal, el estudio del patrón vocal de los pollos de engorde mediante micrófonos y equipos de audio no invasivos, permiten un seguimiento del bienestar de estos animales [7].

Un estudio europeo tuvo por objetivo identificar y validar un modelo que describa la tasa de crecimiento en pollos de engorde, dadas las frecuencias máximas (FP) de sus vocalizaciones, recolectando sonidos y valores del peso durante 5 ciclos de producción; los investigadores emplearon el *software* Matlab 2014 para el análisis del sonido, donde determinaron las frecuencias máximas de potencia y la densidad espectral de potencia (PSD) mediante el método de Welch.

Como resultado obtuvieron un coeficiente de correlación entre los pesos observados y los predichos de un $r = 96\%$, mientras el modelo de regresión arrojó un valor significativo de $R^2 = 93\%$.

Los autores también concluyen que los sonidos emitidos por los pollos son inversamente proporcional a la edad y peso, por esto el modelo propuesto obtiene un mejor análisis las primeras semanas del ciclo cuando la frecuencia de sonidos emitidos por los animales es mayor [37].

El análisis de estornudos puede ser un indicador clínico en la aparición de enfermedades en las aves de corral, por esto se realizó un estudio donde se registraron y etiquetaron 480 minutos de sonidos un grupo de 51 pollos de engorde mediante el *software* *Audacity*, separándolos en 240 minutos para el entrenamiento, y 60 minutos para la validación [38].

El algoritmo sugerido por los autores, presenta 3 fases, la primera consta de la limpieza del sonido eliminando ruidos mediante la sustracción espectral en Matlab, como segundo paso se dividió la señal sonora en eventos y por último se clasifican

estos eventos en estornudo o no estornudo de acuerdo a las variables características extraídas de la señal, esto dio como resultado un modelo con una precisión de 88.4% en la clasificación y una sensibilidad en el conjunto de validación de 66.7% [38].

Mediante el análisis de sonido también se ha estudiado la detección del estrés en pollos de engorde como se describe en el trabajo realizado por Nikša Jakovljević, donde diseñó un clasificador basado en máquinas de vectores de soporte (SVM) estudiando un conjunto de características como: la energía, potencia, media cuadrática (RMS), *jitter*, *shimmer*, tono medio, relación entre armónicos y ruido (HNR), salidas MFFB y MFCC.

Estas características se estudiaron sobre datos de audio guardados por una empresa avícola donde un veterinario realizó el etiquetado para eventos como el estrés causado por la alta temperatura de la habitación, captura y transferencia de las aves y el mantenimiento regular del lugar, teniendo como resultado una precisión entre el 63.0% y 83.0% en la clasificación, dependiendo de la edad de las aves y analizando todas las características juntas [39].

3. Resultados

Para cada artículo utilizado dentro de este trabajo, se extrajo los países de afiliación de cada autor, de esta manera se pudo deducir que gran parte de los trabajos fueron desarrollados en el continente europeo, siendo los países de Bélgica, Países Bajos, Reino Unido e Italia quienes lideran las investigaciones relacionadas con la ganadería de precisión para la crianza de pollos de engorde.

Países como China y Estados Unidos también muestran una alta contribución de autores dentro de esta revisión como se muestra la figura 2.

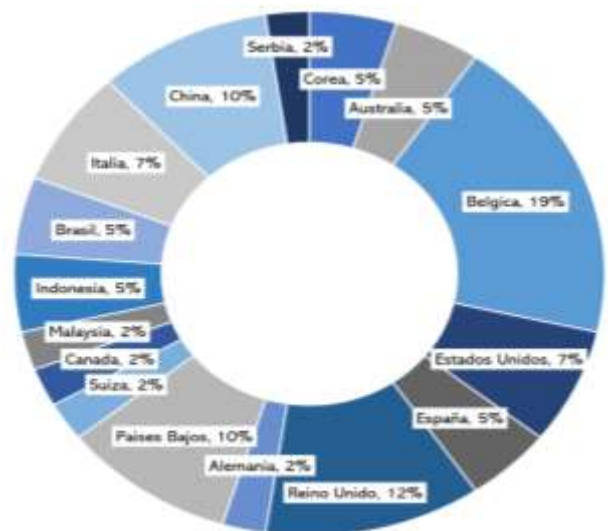


Figura 2. Porcentaje de países de afiliación de los autores.

Las principales ramas de investigación identificadas dentro de la PLF para la crianza de pollos de engorde son: Monitorización de variables mediante sensores, implementación de algoritmos de *machine learning* en las tareas de gestión, análisis del sonido de las aves y visión artificial.

Según esta revisión se puede observar en la figura 3, que los trabajos se enfocan actualmente en el análisis de imágenes mediante algoritmos de visión artificial.

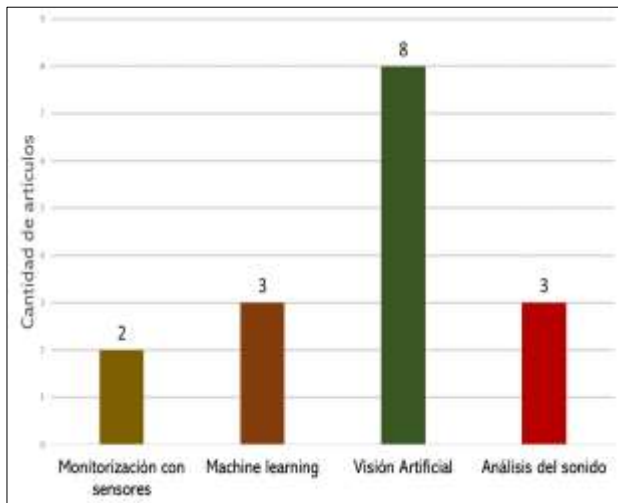


Figura 3. Principales tendencias de investigación dentro de la ganadería de precisión para pollos de engorde.

La tabla 1 recoge los artículos revisados que han tenido como objeto de estudio factores de cuidado que influyen en la crianza de pollos de engorde.

Tabla 1. Artículos relacionados a los principales cuidados en la cría de pollos de engorde y sus temas de estudio.

Artículo	Tema estudiado
Effect of Heat Stress and Stocking Density on Growth Performance, Breast Meat Quality, and Intestinal Barrier Function in Broiler Chickens.	Estrés por calor (HS) y la densidad de población (SD) en pollos de engorde.
Odour emissions from poultry litter – A review litter properties, odour formation and odourant emissions from porous materials.	Emisión de olores de la cama de pollos de engorde y sus prácticas de manejo.
Study of Internal climate of naturally and Mechanically Ventilated Broiler Houses.	Ventilación mecánica y natural en las naves de cría de pollos de engorde.

En la tabla 2 se recopila los principales artículos relacionados con el establecimiento de la ganadería de precisión como un área de estudio.

Tabla 2. Enfoque de los artículos utilizados para definir PLF.

Artículo	Enfoque del estudio
General introduction to precision livestock farming	Establecer los retos, principios y la implementación de la ganadería de precisión.
Precision Livestock Farming and Farmers' Duties to Livestock.	Estudiar las promesas de sostenibilidad y bienestar propuestos por PLF y preocupaciones éticas.
Precision Livestock Farming: an international review of scientific and commercial aspects.	Revisar los conceptos, principios, beneficios y motivación de los sistemas PLF.
Review: Precision livestock farming: building 'digital representations' to bring the animals closer to the farmer.	Abordar las técnicas para el seguimiento de animales mediante imágenes y sonido para construir "representaciones digitales" de los animales.
Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming.	Revisar los objetivos, principios, sensores y técnicas de detección en el seguimiento de animales mediante PLF.

En la tabla 3, se describen los dilemas éticos planteados por los autores dentro de sus artículos, relacionados a la implementación de tecnología basada en PLF.

Tabla 3. Artículos relacionados a la ética dentro del campo PLF y los dilemas planteados.

Artículos	Dilemas planteados
Precision livestock farming: could it drive the livestock sector in the wrong direction?.	Sistemas PLF como afianzador de la ganadería intensiva con bajo potencial de bienestar animal.
The Quantified Animal: Precision Livestock Farming and the Ethical Implications of Objectification.	Interrupción de las relaciones entre humanos y animales, objetivación de los animales por parte de la PLF.
Care ethics and animal welfare.	Ambigüedades dentro de la ética del cuidado sobre el bienestar animal.
A Systematic Review of Precision Livestock Farming in the Poultry Sector: Is Technology Focussed on Improving Bird Welfare?.	La mejora del bienestar animal como el principal objetivo en el desarrollo actual del PLF.

En la tabla 4 se identifican los principales sensores y módulos utilizados para el monitoreo de variables dentro de los recintos de cría de pollos de engorde, según los trabajos encontrados.

Tabla 4. Sensores y variables estudiadas dentro de los artículos encontrados.

Artículo	Equipos utilizados	VARIABLES
Development of Smart Chicken Poultry Farm using RTOS on Arduino	- DHT-22 - MQ-135 - Arduino Mega - Módulo RTC - Placa Wifi	- Temperatura - Humedad - Niveles de CO ₂ - Niveles de NH ₃
Development of Smart Chicken Poultry Farm	- DHT-22 - Sondeas de temperatura - Microcontrolador ATMega328 - Arduino Mega - MQ-135 - Módulo HC-12 RF - Módulo ESP8266 Wifi	- Temperatura - Humedad - Nivel de NH ₃ - Flujo de aire

En la tabla 5 se identifican las técnicas de *machine learning* utilizadas dentro de los trabajos encontrados, siendo empleadas en tareas de gestión, predicción y monitorización.

Tabla 5. Técnicas de aprendizaje automático empleados en PLF.

Artículo	Técnicas empleadas
Estimating and tuning adaptive action plans for the control of smart interconnected poultry condominiums.	- Redes de memoria de corto plazo (LSTM). - Algoritmos genéticos.
Quantile regression forests-based modeling and environmental indicators for decision support in broiler farming.	Algoritmo <i>k</i> vecinos más cercanos (KNN).
A Data-Driven Prediction Method for an Early Warning of Coccidiosis in Intensive Livestock Systems: A Preliminary Study.	Bosques de regresión cuantílica.

Dentro de los trabajos enfocados a la utilización de técnicas de visión artificial, se identificaron los tipos de procesamiento implementados, así como las tareas en que se centraba cada investigación dentro de la tabla 6.

Tabla 6 - Tareas identificadas y tipo de procesamiento empleado para los artículos relacionados a la visión artificial.

Artículo	Tipo de procesamiento	Tarea
Automatic Recognition of Flock Behavior of Chickens with Convolutional Neural Network and Kinect Sensor.	Redes neuronales convolucionales (CNNs).	Seguimiento
Cluster index for estimating thermal poultry stress (gallus gallus domesticus).	Técnicas computacionales de morfología matemática utilizando MatLab.	Seguimiento
Real-time monitoring of broiler flock's welfare status using camera-based technology.	Software comercial EyeNamic™.	Clasificación
Development of an early warning system for a broiler house using computer vision.	Software comercial EyeNamic™.	Clasificación
Pose estimation and behavior classification of broiler chickens based on deep neural networks.	Redes neuronales profundas (DNN), específicamente <i>Deeplabcut</i> .	Seguimiento y clasificación
Detecting Poultry Movement for Poultry Behavioral Analysis using The Multi-Object Tracking (MOT) Algorithm Jasmine.	Modelos <i>Multi-Object Tracking</i> (MOT), <i>Single Shot Multibox Detector</i> (SSD) y el algoritmo de seguimiento del centroide.	Detección y seguimiento
Development of an early warning algorithm to detect sick broilers.	Algoritmo de agrupación K-means y el modelo de elipse.	Clasificación
Comparative study on poultry target tracking algorithms based on a deep regression network.	Redes convolucionales basadas en la arquitectura <i>AlexNet</i> . Algoritmos como: MeanShift (MS), el de aprendizaje multitarea (MIL), el filtro de correlación Kernel (KCF), Filtro de Correlación Adaptativo (ACF) y Seguimiento-Aprendizaje-Detección (TLD).	Seguimiento

En aquellos artículos relacionados al análisis de sonido, se desglosa en la tabla 7 el tipo de audio estudiado.

Tabla 7 - Sonidos de los pollos de engorde estudiados en los artículos de referencia.

Artículo	Sonidos analizados
Sound analysis to model weight of broiler chickens.	Frecuencias máximas (FP) de vocalizaciones de los pollos.
Development of sound-based poultry health monitoring tool for automated sneeze detection.	Estornudos de las aves.
A Broiler Stress Detection System Based on Audio Signal Processing.	Sonidos producto de eventos como el estrés causado por las altas temperaturas, captura y transferencia de las aves y el mantenimiento regular del lugar.

4. Conclusiones

Los avances en tecnología cada vez se integran más a los viejos sistemas de producción de alimentos con la finalidad de resolver los nuevos retos propuestos por el crecimiento de la población, contaminación ambiental, producción intensiva y el bienestar animal.

Es bajo estos problemas que se ha planteado a la ganadería de precisión como una posible evolución en nuestra forma de producir alimento de origen animal.

Al término de esta revisión se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La ganadería de precisión puede ser asemejada con el término de “granjas inteligentes”, sin embargo, ésta ha sido establecida como una ciencia multidisciplinaria mediante principios, objetivos, discusiones éticas, tendencias de investigación y sobre todo, una comunidad de investigadores internacionales.
- Los países que han desarrollado investigaciones dentro de la ganadería de precisión son en su mayoría del continente europeo. Esto se puede deber a las inversiones realizadas por la Unión Europea para el desarrollo de este campo como lo es Congreso Europeo de ganadería de precisión [40] y la Asociación Europea de ganadería de precisión [41].
- Entre las tendencias de investigación dentro de la ganadería de precisión se encontró que los sistemas basados en visión artificial han cobrado mayor relevancia, esto debido a la existencia de *software* comerciales como el EyeNamic™ o simplemente a la cantidad de datos obtenidos de cámaras de vigilancia, ya que es el método de monitorización que menos intervención causa a los animales.
- Dentro de esta ciencia aún se siguen discutiendo dilemas éticos respecto al tratamiento de los animales, por lo que cualquier investigación debe contemplar la salud y el bienestar animal acompañado por el asesoramiento de expertos dentro de estos campos como lo son los veterinarios.

➤ Los proyectos realizados deben avanzar a las etapas de comercialización mediante pruebas de rendimiento en entornos de exigencia industrial, para que de esta manera se logre un impacto evidente de los beneficios que ofrece este campo.

En Panamá se debe fortalecer el sector productor avícola con nuevas herramientas tecnológicas enfocadas en la ganadería de precisión.

Es por esto por lo que se espera esta revisión sirva como un primer acercamiento para crear un marco de investigación común en los proyectos de esta índole y que promueva la cooperación entre las distintas ramas involucradas en esta ciencia dentro de nuestro país.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), mediante el programa de movilidad internacional saliente estudiantil hacia la Universidad de Salamanca, España.

Agradecimientos al Dr. Cristian Pinzón del grupo de investigación Robótica, Sistemas Inteligentes y Simulación, de la Universidad Tecnológica de Panamá, centro regional de Veraguas.

A los investigadores del grupo *Expert Systems and Applications Laboratory* de la Universidad de Salamanca por el conocimiento e ideas compartidas.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), “Panamá en Cifras 2015-2019,” 2019. https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1083&ID_CATEGORIA=17&ID_SUBCATEGORIA=45 (accessed Nov. 29, 2021).
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “FAO - Noticias: 2050: un tercio más de bocas que alimentar.” <https://www.fao.org/news/story/es/item/35675/icode/> (accessed Nov. 29, 2021).
- [3] M. M. Rojas-Downing, A. P. Nejadhashemi, T. Harrigan, and S. A. Woznicki, “Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation,” *Clim. Risk Manag.*, vol. 16, pp. 145–163, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.CRM.2017.02.001.
- [4] S. Neethirajan, “The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming,” *Sens. Bio-Sensing Res.*, vol. 29, p. 100367, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.SBSR.2020.100367.
- [5] T. Van Herlem *et al.*, “Appropriate data visualisation is key to Precision Livestock Farming acceptance,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 138, pp. 1–10, Jun. 2017, doi: 10.1016/J.COMPAG.2017.04.003.
- [6] T. Norton, C. Chen, M. L. V. Larsen, and D. Berckmans, “Review: Precision livestock farming: building ‘digital representations’ to bring the animals closer to the farmer,” *Animal*, vol. 13, no. 12, pp. 3009–3017, Jan. 2019, doi: 10.1017/S175173111900199X.
- [7] I. Fontana, E. Tullo, A. Butterworth, and M. Guarino, “An innovative approach to predict the growth in intensive poultry farming,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 119, pp. 178–183, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.COMPAG.2015.10.001.
- [8] P. Stevenson, “Precision livestock farming: could it drive the livestock sector in the wrong direction,” *Compassion World Farming. Recuper. a partir https://www.ciwf.org.uk/media/7431928/plf-could-it-drive-the-livestock-*

- sector-in-the-wrong-direction. pdf, 2017, [Online]. Available: <https://www.ciwf.org.uk/media/7431928/plf-could-it-drive-the-livestock-sector-in-the-wrong-direction.pdf>.
- [9] F. Borgonovo, V. Ferrante, G. Grilli, R. Pascuzzo, S. Vantini, and M. Guarino, "A Data-Driven Prediction Method for an Early Warning of Coccidiosis in Intensive Livestock Systems: A Preliminary Study," *Anim. 2020*, Vol. 10, Page 747, vol. 10, no. 4, p. 747, Apr. 2020, doi: 10.3390/ANI10040747.
- [10] D. Berckmans, "General introduction to precision livestock farming," *Anim. Front.*, vol. 7, no. 1, pp. 6–11, Jan. 2017, doi: 10.2527/AF.2017.0102.
- [11] Comisión Europea, "Bright Farm de ganadería de precisión | Proyecto EU-PLF | Hoja de datos | FP7 | CORDIS | Comisión Europea." <https://cordis.europa.eu/project/id/311825/es> (accessed Dec. 02, 2021).
- [12] I. Halachmi, "Precision livestock farming applications," *Precis. Livest. farming Appl.*, May 2015, doi: 10.3920/978-90-8686-815-5.
- [13] M. Egan, "Proceedings of the Precision Livestock Farming '19 | EA-PLF," in *Papers presented at the 9th European Conference on Precision Livestock Farming*, Aug. 2019, pp. 1–924, Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available: <https://www.eaplf.eu/2021/07/proceedings-of-the-precision-livestock-farming-19/>.
- [14] D. Goo, J. H. Kim, G. H. Park, J. B. D. Reyes, and D. Y. Kil, "Effect of Heat Stress and Stocking Density on Growth Performance, Breast Meat Quality, and Intestinal Barrier Function in Broiler Chickens," *Anim. 2019*, Vol. 9, Page 107, vol. 9, no. 3, p. 107, Mar. 2019, doi: 10.3390/ANI9030107.
- [15] M. W. Dunlop, P. J. Blackall, and R. M. Stuetz, "Odour emissions from poultry litter – A review litter properties, odour formation and odorant emissions from porous materials," *J. Environ. Manage.*, vol. 177, pp. 306–319, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2016.04.009.
- [16] In-Bok Lee, Byoeng-Ki You, Kyu-Hong Choi, Jong-Gil Jeun, and Gyeong-Won Kim, "Study of Internal climate of naturally and Mechanically Ventilated Broiler Houses," Nov. 2013, doi: 10.13031/2013.13871.
- [17] I. Werkheiser, "Precision Livestock Farming and Farmers' Duties to Livestock," *J. Agric. Environ. Ethics 2018 312*, vol. 31, no. 2, pp. 181–195, Feb. 2018, doi: 10.1007/S10806-018-9720-0.
- [18] D. Berckmans, "Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming," *Livest. Prod. Soc.*, 2006, doi: 10.3920/978-90-8686-567-3.
- [19] T. M. Banhazi *et al.*, "Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–9, Sep. 2012, doi: 10.25165/IJABE.V5I3.599.
- [20] J. M. Bos, B. Bovenkerk, P. H. Feindt, and Y. K. van Dam, "The Quantified Animal: Precision Livestock Farming and the Ethical Implications of Objectification," *Food Ethics 2018 21*, vol. 2, no. 1, pp. 77–92, Nov. 2018, doi: 10.1007/S41055-018-00029-X.
- [21] D. Engster, "Care ethics and animal welfare," *J. Soc. Philos.*, vol. 37, no. 4, pp. 521–536, Dec. 2006, doi: 10.1111/J.1467-9833.2006.00355.X.
- [22] E. Rowe, M. S. Dawkins, and S. G. Gebhardt-Henrich, "A Systematic Review of Precision Livestock Farming in the Poultry Sector: Is Technology Focussed on Improving Bird Welfare?," *Anim. 2019*, Vol. 9, Page 614, vol. 9, no. 9, p. 614, Aug. 2019, doi: 10.3390/ANI9090614.
- [23] J. Astill, R. A. Dara, E. D. G. Fraser, B. Roberts, and S. Sharif, "Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 170, p. 105291, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.COMPAG.2020.105291.
- [24] T. S. Gunawan, M. F. Sabar, H. Nasir, M. Kartiwi, and S. M. A. Motakabber, "Development of Smart Chicken Poultry Farm using RTOS on Arduino," *2019 IEEE Int. Conf. Smart Instrumentation, Meas. Appl.*, pp. 1–5, Aug. 2019, doi: 10.1109/ICSIMA47653.2019.9057310.
- [25] H. Mansor, A. N. Azlin, T. S. Gunawan, M. Md Kamal, and A. Z. Hashim, "Development of Smart Chicken Poultry Farm," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 498–505, May 2018, doi: 10.11591/IJEECS.V10.I2.PP498-505.
- [26] A. Yaseer and H. Chen, "A Review of Sensors and Machine Learning in Animal Farming," *2021 IEEE 11th Annu. Int. Conf. CYBER Technol. Autom. Control. Intell. Syst.*, pp. 747–752, Jul. 2021, doi: 10.1109/CYBER53097.2021.9588295.
- [27] D. F. Klotz *et al.*, "Estimating and tuning adaptive action plans for the control of smart interconnected poultry condominiums," *Expert Syst. Appl.*, vol. 187, p. 115876, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.ESWA.2021.115876.
- [28] A. Diez-Olivan, X. Averós, R. Sanz, B. Sierra, and I. Estevez, "Quantile regression forests-based modeling and environmental indicators for decision support in broiler farming," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 161, pp. 141–150, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.COMPAG.2018.03.025.
- [29] H. Pu, J. Lian, and M. Fan, "Automatic Recognition of Flock Behavior of Chickens with Convolutional Neural Network and Kinect Sensor," <https://doi.org/10.1142/S0218001418500234>, vol. 32, no. 7, Mar. 2018, doi: 10.1142/S0218001418500234.
- [30] D. F. Pereira, F. A. A. Lopes, L. R. A. G. Filho, D. D. A. Salgado, and M. M. Neto, "Cluster index for estimating thermal poultry stress (gallus gallus domesticus)," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 177, p. 105704, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.COMPAG.2020.105704.
- [31] A. Peña Fernández *et al.*, "Real-time monitoring of broiler flock's welfare status using camera-based technology," *Biosyst. Eng.*, vol. 173, pp. 103–114, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2018.05.008.
- [32] M. Kashiha, A. Pluk, C. Bahr, E. Vranken, and D. Berckmans, "Development of an early warning system for a broiler house using computer vision," *Biosyst. Eng.*, vol. 116, no. 1, pp. 36–45, Sep. 2013, doi: 10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2013.06.004.
- [33] C. Fang, T. Zhang, H. Zheng, J. Huang, and K. Cuan, "Pose estimation and behavior classification of broiler chickens based on deep neural networks," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 180, p. 105863, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.COMPAG.2020.105863.
- [34] J. Khairunissa, S. Wahjuni, I. R. H. Soesanto, and W. Wulandari, "Detecting Poultry Movement for Poultry Behavioral Analysis using the Multi-Object Tracking (MOT) Algorithm," *Proc. 8th Int. Conf. Comput. Commun. Eng. ICCCE 2021*, pp. 265–268, Jun. 2021, doi: 10.1109/ICCCE50029.2021.9467144.
- [35] X. Zhuang, M. Bi, J. Guo, S. Wu, and T. Zhang, "Development of an early warning algorithm to detect sick broilers," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 144, pp. 102–113, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.COMPAG.2017.11.032.
- [36] C. Fang, J. Huang, K. Cuan, X. Zhuang, and T. Zhang, "Comparative study on poultry target tracking algorithms based on a deep regression network," *Biosyst. Eng.*, vol. 190, pp. 176–183, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2019.12.002.
- [37] I. Fontana *et al.*, "Sound analysis to model weight of broiler chickens," *Poult. Sci.*, vol. 96, no. 11, pp. 3938–3943, Nov. 2017, doi: 10.3382/PS/PEX215.
- [38] L. Carpentier, E. Vranken, D. Berckmans, J. Paeshuyse, and T. Norton, "Development of sound-based poultry health monitoring tool for automated sneeze detection," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 162, pp. 573–581, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.COMPAG.2019.05.013.
- [39] N. Jakovljevic, N. Maljkovic, D. Miskovic, P. Knezevic, and V. Delic, "A Broiler Stress Detection System Based on Audio Signal Processing," *27th Telecommun. Forum, TELFOR 2019*, Nov. 2019, doi: 10.1109/TELFOR48224.2019.8971336.
- [40] "Vetmeduni : ECPLF." <https://www.vetmeduni.ac.at/ecplf2022/ecplf> (accessed Feb. 15, 2022).
- [41] "EA-PLF | European Association for Precision Livestock Farming." <https://www.eaplf.eu/> (accessed Feb. 15, 2022).