

IoT en Captura y Análisis de Sonido en Agroindustria: Un Estudio de Literatura

IoT in Sound Capture and Analysis in Agroindustry: A Literature Review

IoT na Captura e Análise de Som na Agroindústria: Um Estudo de Literatura

Andrés Antonio Calvo Vargas

Escuela de Informática, Universidad Nacional, Costa Rica

<https://ror.org/01t466c14>

andres.calvo.vargas@est.una.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0000-3615-0615>

Camilo José González Fuentes

Escuela de Informática, Universidad Nacional, Costa Rica

<https://ror.org/01t466c14>

camilo.gonzalez.fuentes@est.una.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0009-7876-4602>

Gorki Iván Romero Valerio

Escuela de Informática, Universidad Nacional, Costa Rica

<https://ror.org/01t466c14>

gorki.romero.valerio@est.una.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0001-0550-9602>

Sergio Alonso Romero Valverde

Escuela de Informática, Universidad Nacional, Costa Rica

<https://ror.org/01t466c14>

sergio.romero.valverde@est.una.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0005-7036-5536>

Fulvio Lizano Madriz

Escuela de Informática, Universidad Nacional, Costa Rica

<https://ror.org/01t466c14>

flizano@una.cr

<https://orcid.org/0000-0001-8789-2985>

Recibido 23-09-2024

Revisado 06-02-2025

Aceptado 10-09-2025

Resumen

Este artículo tiene como objetivo revisar y analizar la literatura sobre la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) en la captura y análisis de sonido en la agroindustria, un área emergente con gran potencial para mejorar la eficiencia y sostenibilidad agrícola. El estudio busca identificar el estado actual de la investigación, las principales tendencias y las áreas de oportunidad en este campo. Para llevar a cabo este análisis, se realizó una revisión sistemática de la literatura utilizando Google Académico como base de datos académica, enfocándose en publicaciones que abordaran específicamente la integración del IoT en la monitorización acústica. El proceso incluyó la recolección y análisis de datos bibliométricos, así como la evaluación de las características de las investigaciones realizadas hasta la fecha.

Los resultados destacan que la mayoría de los estudios son recientes, con un enfoque particular en aplicaciones como la detección de plagas y la monitorización del estado de los cultivos mediante el análisis de sonido. A pesar del interés creciente, se identifican importantes vacíos en áreas como el uso de inteligencia artificial y aprendizaje automático en la interpretación de los datos acústicos recogidos. Las conclusiones del estudio subrayan la necesidad de continuar con el desarrollo de sistemas IoT más avanzados, especialmente en campos como la apicultura y la ecología, donde la aplicación del análisis de sonido puede tener un impacto significativo. Este trabajo proporciona una base sólida para futuras investigaciones y el desarrollo de tecnologías innovadoras en la agroindustria.

Palabras clave: Internet de las Cosas (IoT), análisis de sonido en agroindustria, monitoreo acústico agrícola, detección de plagas mediante IoT, agricultura inteligente.

Abstract

This article aims to review and analyze the literature on the application of the Internet of Things (IoT) in sound capture and analysis in



agroindustry, an emerging field with great potential to improve agricultural efficiency and sustainability. The study seeks to identify the current state of research, key trends, and areas of opportunity in this field. A systematic review of the literature was conducted using Google Scholar as an academic database, focusing on publications specifically addressing IoT integration in acoustic monitoring. The process included data collection and bibliometric analysis, as well as an evaluation of the characteristics of the research carried out to date. The results highlight that most studies are recent, with a particular focus on applications such as pest detection and crop monitoring through sound analysis. Despite growing interest, significant gaps have been identified in areas such as the use of artificial intelligence and machine learning in interpreting the acoustic data collected. The study concludes that it is essential to continue developing more advanced IoT systems, particularly in fields such as beekeeping and ecology, where the application of sound analysis can have a significant impact. This work provides a solid foundation for future research and the development of innovative technologies in agroindustry.

Keywords: Internet of Things (IoT), sound analysis in agroindustry, acoustic monitoring in agriculture, pest detection via IoT, smart agriculture.

Resumo

Este artigo tem como objetivo revisar e analisar a literatura sobre a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na captura e análise de som na agroindústria, uma área emergente com grande potencial para melhorar a eficiência e sustentabilidade agrícola. O estudo busca identificar o estado atual da pesquisa, as principais tendências e áreas de oportunidade nesse campo. Uma revisão sistemática da literatura foi realizada utilizando o Google Acadêmico como base de dados, com foco em publicações que abordam especificamente a integração do IoT no monitoramento acústico. O processo incluiu a coleta e análise de dados bibliométricos, além da avaliação das características das pesquisas realizadas até o momento. Os resultados destacam que a maioria dos estudos é recente, com foco particular em aplicações como a detecção de pragas e o monitoramento de culturas por meio da análise de som. Apesar do crescente interesse, foram identificadas lacunas significativas em áreas como o uso de inteligência artificial e aprendizado de máquina na interpretação dos dados acústicos coletados. O estudo conclui que é essencial continuar desenvolvendo sistemas IoT mais avançados, especialmente em campos como a apicultura e a ecologia, onde a aplicação da análise de som pode ter um impacto significativo. Este trabalho oferece uma base sólida para pesquisas futuras e o desenvolvimento de tecnologias inovadoras na agroindústria.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT), análise de som na agroindústria, monitoramento acústico na agricultura, detecção de pragas via IoT, agricultura inteligente.

Introducción

La intersección de tecnologías avanzadas con la agricultura, especialmente a través del Internet de las Cosas (IoT), ha revolucionado la eficiencia agrícola y la gestión de recursos. El análisis sonoro mediante IoT emerge como una innovación clave en la detección y gestión de plagas, utilizando tecnologías para identificar y combatir amenazas agrícolas antes de que afecten los rendimientos de los cultivos (Ali et al., 2024). La aplicación de IoT en el análisis sonoro en agroindustria está en un punto crítico, con el potencial de transformar la detección y manejo de plagas mediante sistemas automatizados y aprendizaje profundo (Ojo et al., 2022).

A pesar de los avances, existen lagunas en la literatura sobre el estado actual y futuro de esta investigación. La necesidad de sistemas capaces de integrar y procesar datos acústicos complejos para generar respuestas eficaces es crítica (Radhika et al., 2022). Problemas específicos incluyen la implementación de sistemas para discernir sonidos indicativos de plagas o necesidades de riego (Karar et al., 2021), y la monitorización en apicultura para prevenir trastornos como el colapso de colonias (Imoize et al., 2020).

Este estudio busca explorar el estado de la literatura en relación con la aplicación de IoT en captura y análisis de sonido en agroindustria. La investigación se enfoca en una revisión sistemática de la literatura, destacando la importancia de los sistemas basados en IoT y análisis sonoro en prácticas agrícolas sostenibles y eficientes. Específicamente se busca explorar aspectos puntuales relacionados con la bibliometría básica de la literatura y las características de la investigación realizada en este campo. Después de esta introducción, el lector podrá encontrar la metodología de investigación utilizada, los resultados, discusión y conclusiones.

Metodología

La presente revisión sistemática de literatura se enfoca en el estado de la literatura en relación con la investigación en aplicación de IoT en captura y análisis de sonido en agroindustria. El enfoque metodológico utilizado en este estudio permitió recopilar, evaluar y sintetizar las investigaciones relevantes y disponibles sobre un tema específico (Williamson & Johanson, 2017), en este caso, la aplicación de IoT en captura y análisis de sonido en agroindustria. Para la identificación de fuentes relevantes, se utilizó Google Académico como base de datos bibliográfica dada su amplia cobertura de literatura científica en relación con la agroindustria (Ritchie et al., 2018). La búsqueda de literatura se organizó mediante el software "Harzing 's Publish or Perish" (versión

8.12.4612.8888), dado que facilita la gestión y análisis de los resultados obtenidos. Considerando que el término "IoT" fue empleado por primera vez en 1999 (Madakam et al., 2015), el rango de fechas utilizado para la búsqueda de documentos fue del 2000 al 2023. Se definieron conjuntos de palabras clave relacionadas con IoT y el análisis sonoro en la agroindustria, los cuales, en un primer proceso de búsqueda arrojaron una determinada cantidad de resultados tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Cadenas de Búsqueda para Artículos Científicos y Resultados

Cadena de Búsqueda	Resultados
("IoT" OR "Internet of Things") + ("acoustic monitoring" OR "sound capture") + ("agro" OR "agroindustry")	53
("IoT" OR "Internet of Things") + ("sound analysis") + ("agro")	52
("IoT") + ("sound capture" OR "acoustic monitoring") + ("agro")	41
("Internet of Things") + ("sound analysis" OR "acoustic monitoring") + ("agricultural industry")	33
("Internet de las Cosas") + ("monitoreo acústico" OR "captura de sonido") + ("agroindustria" OR "agricultura")	6
("IoT" OR "Internet de las Cosas") + ("análisis de sonido") + ("agro" OR "agricultura")	12
Total de documentos	198

Con estos resultados, el análisis de los datos se realizó en varias etapas. Primero, se eliminaron artículos duplicados y se filtraron los documentos por idioma (español e inglés) y relevancia temática con respecto a la pregunta de investigación, con esto se redujo la cantidad de elementos de literatura a 198 referencias. Se procedió a descartar aquellos elementos de literatura que no se trataran de artículos científicos que reportan estudios con evidencias, experimentos o estudios de tipo revisión de literatura relacionados con la aplicación de IoT en captura y análisis de sonido en la agroindustria. Finalmente, se procedió a ubicar el elemento de literatura completo para su análisis detallado. Con esto, el número final de elementos de literatura resultante fue de 39 con los cuales se desarrolló el estudio. En la Tabla 2, se muestran los elementos de literatura resultantes con el código asignado para facilitar la referencia futura en este artículo de esta literatura. Con estos resultados definitivos se llevó a cabo una clasificación de los elementos de la literatura mediante el uso de diagramas de afinidad (Pavličková et al., 2022). Para la gestión de referencias se utilizó Zotero (versión 6.0.36), lo cual ayudó en la visualización de redes de coautoría y palabras clave, esenciales

para identificar tendencias y patrones clave en la literatura. Finalmente, el análisis culminó en un ejercicio de relación de los resultados que permitió desarrollar la investigación.

Tabla 2

Elementos de literatura y código asignado.

Código	Cita	Código	Cita	Código	Cita
1	(Juárez, 2023)	14	(Zheng et al., 2021)	27	(Mahfuz et al., 2022)
2	(Márquez Guerrero, 2019)	15	(Krishnan et al., 2022)	28	(Guntoro et al., 2019)
3	(Bankinter & Accenture, 2011)	16	(Kleanthous et al., 2022)	29	(Adesipo et al., 2020)
4	(Monta et al., 2020)	17	(Ngo et al., 2020)	30	(Abd Aziz et al., 2021)
5	(Espinoza Ortiz & Sandoval Sandoval, 2022)	18	(Schuller et al., 2024)	31	(Neethirajan, 2020)
6	(Trujillo Burbano, 2022)	19	(Abdollahi et al., 2022)	32	(Neethirajan, 2022)
7	(Mulla Suquisupa, 2023)	20	(Raghu et al., 2022)	33	(Odintsov Vaintrub et al., 2021)
8	(Prats Rosa, 2022)	21	(Ajao et al., 2021)	34	(Martinez-Rau et al., 2023a)
9	(Camargo Jáuregui, 2016)	22	(Chen et al., 2022)	35	(Klotz et al., 2020)
10	(Morone et al., 2022)	23	(Iannace et al., 2021)	36	(Rotaru et al., 2022)
11	(Spanaki et al., 2022)	24	(Mazon-Olivo & Pan, 2022)	37	(Martinez-Rau et al., 2023b)
12	(Rotz et al., 2019)	25	(Mrozek et al., 2021)	38	(Romaneo, 2017)
13	(Astill et al., 2018)	26	(Neethirajan & Kemp, 2021)	39	(Hoye et al., 2023)

Resultados

Esta sección de resultados la organizamos en dos secciones principales. La primera está relacionada con la bibliometría básica que presenta la literatura utilizada en el estudio. La segunda sección, se enfoca en presentar y relacionar diferentes aspectos básicos de la investigación en el campo estudiado.

Bibliometría

Algunas de las principales métricas de la literatura utilizada se muestran en la Tabla 3. El promedio de citas por autor (31) y el promedio de citas (30) son las métricas más altas.

Tabla 3

Promedio de Métricas Clave

Métrica	Promedio
Número de citas	30
Número de citas por año	3
Número de citas por autor	31
Número de autores	3
Edad de la literatura (años)	3

La distribución de la literatura por año y medio de publicación se muestra en la Tabla 4. Destaca el hecho de que en conferencias prácticamente no se publica literatura relacionada con la investigación. Solo 2 publicaciones se encontraron en el año 2019. Por otro lado, en tesis hay una cobertura importante y en revistas es donde más se publica viéndose incrementado este indicador durante los últimos 4 años.

Tabla 4

Distribución de la cantidad literatura por año y medio de publicación

Año	Conferencia	Revista	Tesis
2011	0	1	0
2016	0	0	1
2017	0	0	1
2018	0	1	0
2019	2	1	1
2020	0	6	0
2021	0	7	0
2022	0	9	3
2023	0	5	1

En agroindustria, la aplicación de IoT en captura y análisis de sonido se ha enfocado en diversas ramas tal como se muestra en la Tabla 5. Avicultura, ganadería y agricultura son las ramas en donde más se han reportado aplicaciones de este tipo de tecnología (11, 9 y 8 publicaciones respectivamente). La apicultura es la rama de la agroindustria donde menos se ha reportado el uso de esta tecnología (1 publicación).

Tabla 5

Distribución de la cantidad de publicaciones por rama

Rama	# de publicaciones
Avicultura	11
Ganadería	9
Agricultura	8
Industria	4
Ciudades Inteligentes	4
Ecología	2
Apicultura	1

El análisis de los elementos de hardware IoT utilizados en la literatura relacionada con captura y análisis de sonido en agroindustria, revela la utilización de una amplia variedad de dispositivos y sensores los cuales no solamente están relacionados con el objeto de este estudio (Ver Tabla 6). Los sensores ambientales son la categoría más representada, con 14 tipos diferentes, incluyendo sensores para monitorización de variables como temperatura, humedad, luz, niveles de amoníaco y dióxido de carbono. Estos sensores se utilizan en diversas aplicaciones, principalmente en la monitorización ambiental y la agricultura de precisión (Zheng et al., 2021). Ya más relacionado con el objeto de este estudio, los micrófonos están presentes con 8 tipos diferentes, incluyendo micrófonos electret direccionales, piezoeléctricos, sensores de electret y de sonido. (Romaneo, 2017). Estos dispositivos son útiles para aplicaciones que requieren detección y análisis de sonido en entornos agroindustriales. También relacionado con el objeto de este estudio, cabe mencionar la presencia de grabadores de audio, específicamente grabadores digitales como el Sony Digital ICD-PX312, que aunque su utilización sólo está referida en un estudio (Martinez-Rau, Chelotti, Ferrero, Galli, et al., 2023). Otros elementos de hardware presentes en la literatura analizada son placas de desarrollo, cámaras, dispositivos de comunicación, sensores adicionales de diversa índole tales como acelerómetros, sensores RFID y GPS.

Tabla 6

Hardware IoT Utilizado

Tipo	Elementos	Código
Micrófonos	• Micrófonos electret direccionales • Micrófonos piezoeléctricos • Sensores de electret • Sensores de sonido (no especificados) • Micrófonos (no especificados)	18, 19, 28, 29, 31, 34, 37, 38, 39
Grabadores de audio	• Grabadores digitales (Sony Digital ICD-PX312)	37
Sensores ambientales	• Sensores de temperatura • Sensores de humedad • Sensores de luz • Sensores de amoníaco (MQ-135) • Sensores de CO2	2, 14, 19, 20, 29, 34, 35
Cámaras	• Cámaras (no especificadas) • Cámaras térmicas infrarrojas • Cámaras de alta definición o infrarrojas	1, 10, 27, 29, 30, 34, 36, 39
Placas de desarrollo	• Arduino Uno • Raspberry Pi • ESP32 • ESP8266	2, 3, 6, 9, 16, 17, 24, 25, 29, 31, 34, 38, 39
Comunicación	• Módulos WiFi • Módulos LoRa • Módulos Bluetooth • Módulos ZigBee	2, 3, 6, 21, 32
Otros sensores	• Acelerómetros • Sensores RFID • GPS	8, 16, 17, 19, 27, 33, 38, 39

Las principales referencias a la utilización de elementos de software utilizados en la literatura relacionada con IoT y captura y análisis de sonido en agroindustria, se muestran en la Tabla 7. El software de captura y análisis de sonido es el más representado, con 8 tipos diferentes de elementos de software que incluyen algoritmos de procesamiento de señales de audio, software de análisis de sonido, algoritmos de reconocimiento de sonido, entre otros (Rotaru et al., 2022).

Tabla 7

Software IoT Utilizado

Tipo	Elementos	Código
Captura y análisis de sonido	• Algoritmos de procesamiento de señales de audio • Software de análisis de sonido. • Algoritmos de reconocimiento de sonido • Redes neuronales para análisis acústico • Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) • Algoritmos KNN para análisis de audio • Software de edición de audio (Audacity) • Python scripts para procesamiento de audio	18, 19, 27, 31, 34, 36, 37, 39
Plataformas IoT y gestión de datos	• ThingSpeak • Node-RED • Microsoft AZURE • Kaa IoT • Plataformas en la nube • SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	3, 6, 8, 26, 27, 28, 31, 32, 34
Protocolos de comunicación	• MQTT • HTTP • Modbus RTU	3, 17, 21, 35
Aprendizaje automático y IA	• Algoritmos de machine learning • Redes neuronales convolucionales (CNNs) • Algoritmos de visión por computadora • Algoritmos de aprendizaje profundo (Deep Learning) • Extreme Gradient Boosting (XGB)	1, 10, 11, 16, 20, 22, 27, 29, 36, 39
Software de desarrollo y programación	• IDE de Arduino • MATLAB • Python • R	5, 24, 37, 35
Sistemas operativos y entornos	• Software compatible con entorno Windows • Linux (implícito en uso de Raspberry Pi)	2, 9
Bases de datos	• SQL Server • Otras bases de datos relacionales (no especificadas)	2, 29, 35, 38
Sistemas de información geográfica	• GIS (Geographic Information System)	12, 34, 38

Características de la investigación en IoT en Captura y Análisis de Sonido en Agroindustria

El segundo aspecto de interés en este trabajo se centró en las particularidades del estudio realizado en el campo bajo análisis. Para examinar la literatura y evaluar su estado actual, se consideraron diversos factores, como las preguntas de investigación, los principales hallazgos, las limitaciones identificadas en los procesos de estudio y las sugerencias para futuros trabajos reportadas en los artículos analizados. En este sentido, estos elementos fueron correlacionados entre sí y se presentan a continuación en la siguiente forma:

- Preguntas de investigación Vs. principales hallazgos
- Preguntas de investigación Vs. Limitaciones
- Preguntas de investigación Vs. trabajos futuros
- Principales hallazgos Vs. limitaciones
- Principales hallazgos Vs. trabajos futuros
- Limitaciones Vs. trabajos futuros

Las preguntas de investigación presentan varias dimensiones de clasificación. Específicamente se encontraron dimensiones en temas de gestión, revisión de literatura, desarrollo de protocolos/sistemas e investigación. En cuanto los principales hallazgos, las principales dimensiones identificadas estaban relacionadas con evaluación de impacto, investigación aplicada, desarrollo de tecnología y revisión de literatura.

De esta forma, en la Tabla 8 se describe la relación de las preguntas de investigación Vs. Los principales hallazgos. Los resultados muestran que la literatura enfocada en preguntas de investigaciones relacionadas con la gestión con hallazgos correspondientes a investigación aplicada de la tecnología de IoT para la captura y análisis de sonidos en agroindustria, es predominante. Los principales hallazgos de las investigaciones están de hecho, relacionados con investigación aplicada y desarrollo de tecnología.

Tabla 8

Relación de preguntas de investigación Vs. principales hallazgos

Pregunta de Investigación	Principales Hallazgos			
	Evaluación de Impacto	Investigación Aplicada	Desarrollo de Tecnología	Revisión de Literatura
Gestión		1, 4, 7, 8, 9, 13, 14, 16, 19, 25, 26, 27, 31, 32, 33, 34	17, 36, 37	
Revisión de Literatura	2	10, 11, 12, 15, 18, 28, 29, 30	35, 38, 39	24
Desarrollo de Protocolos / Sistemas	5		20, 21	
Investigación	3, 22	6, 23		

Por otro lado, la relación entre preguntas de investigación y limitaciones se muestra en la Tabla 9. En este caso, el análisis de las limitaciones en las investigaciones permitió identificar las siguientes dimensiones: limitaciones en costos-accesibilidad-infraestructura, limitaciones en capacitación y adopción y limitaciones metodológicas y de implementación. Así las cosas, en literatura orientada a evaluar la gestión de la aplicación de la tecnología bajo estudio, las mayores limitaciones reportadas estaban relacionadas con los costos, accesibilidad e infraestructura de la aplicación de esta tecnología.

Tabla 9

Pregunta de Investigación	Limitaciones		
	Costos, Accesibilidad e Infraestructura	Capacitación y Adopción	Metodológicas y de Implementación
Gestión	1, 4, 6, 9, 14, 16, 19, 27, 32, 33, 38	8, 17, 26	7, 25, 31, 34, 37
Revisión de Literatura	2, 11, 12, 15, 24	10, 35, 36	18, 28, 29, 30
Desarrollo de Protocolos / Sistemas	5, 21		20
Investigación	3, 13, 22, 23		

Relación de preguntas de investigación Vs. limitaciones

Al relacionar las preguntas de investigación con los trabajos futuros se obtuvo el resultado mostrado en la Tabla 10. Las dimensiones identificadas en las sugerencias de trabajos futuros estaban relacionadas con ampliar la investigación y desarrollo, evaluar el impacto y la sostenibilidad y mejorar la seguridad y políticas. En concordancia con los resultados presentados previamente, la literatura orientada a evaluar la gestión de la aplicación de la tecnología bajo estudio sugiere en mayor medida incrementar la investigación de desarrollo de esta tecnología.

Tabla 10

Relación de preguntas de investigación Vs. Trabajos futuros

Pregunta de Investigación	Trabajos futuros		
	Investigación y Desarrollo	Evaluación de Impacto y Sostenibilidad	Seguridad y Políticas
Gestión	1, 4, 8, 9, 14, 16, 17, 26, 27, 28, 31, 32, 35, 37, 38	33	7
Revisión de Literatura	10, 11, 15, 18, 25, 29, 30, 34, 36, 39	2	12, 24
Desarrollo de Protocolos / Sistemas	5, 20, 21		
Investigación	3, 6, 13, 19, 22	23	

Continuando con la presentación de los resultados, en la Tabla 11 se muestra la relación de los principales hallazgos con las limitaciones. Aquí destaca el hecho de que los principales hallazgos relacionados con investigación aplicada presentaron mayores limitaciones en costos, accesibilidad e infraestructura.

Tabla 11

Limitaciones	Principales Hallazgos			
	Evaluación de Impacto	Investigación Aplicada	Desarrollo de Tecnología	Revisión de Literatura
Costos, accesibilidad e Infraestructura	2, 22	1, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 23, 25, 27, 31, 32, 38	17, 20, 21, 37	11, 24
Capacitación y Adopción		8, 9, 10, 26, 28, 33		38
Metodológicas y de Implementación		7, 16, 18, 29, 30, 34		39

Relación de limitaciones Vs. principales hallazgos

Por otro lado, los resultados de la Tabla 12 muestran la relación entre los principales hallazgos y las sugerencias de trabajos futuros con las limitaciones. En este análisis se resalta el hecho de que la literatura que reporta hallazgos relacionados con investigación aplicada, sugiere incrementar precisamente la investigación y desarrollo en tecnología de IoT para la captura y análisis de sonidos en agroindustria.

Tabla 12

Relación de trabajos futuros Vs. principales hallazgos

Trabajos Futuros	Principales Hallazgos			
	Evaluación de Impacto	Investigación Aplicada	Desarrollo de Tecnología	Revisión de Literatura
Investigación y Desarrollo	3, 5, 22	1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 38	17, 20, 21, 36, 37, 39	
Evaluación de Impacto y Sostenibilidad	2	23, 33		
Seguridad y Políticas		7, 12		24

Finalmente, los resultados de relacionar las limitaciones y las sugerencias de trabajos futuros también mostraron resultados concretos que se muestran en la Tabla 13. En este sentido, la literatura que presentó más sugerencias de incrementar la investigación y desarrollo de la tecnología bajo estudio reportó más limitaciones en cuanto a costos, accesibilidad e infraestructura.

Tabla 13

Relación de trabajos futuros Vs. limitaciones

Trabajos Futuros	Limitaciones		
	Costos, accesibilidad e Infraestructura	Capacitación y Adopción	Metodológicas y de Implementación
Investigación y Desarrollo	1, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 21, 24, 25, 27, 28, 37, 38	10 17, 33, 34	8, 9, 16, 20, 29, 30, 35, 36, 39
Evaluación de Impacto y Sostenibilidad	2, 23		
Seguridad y Políticas	13, 22	7	

Discusión

El análisis de las métricas clave mostradas en la Tabla 3 muestra que el campo de IoT en agroindustria es relativamente joven con un promedio de edad de 3 años de la literatura, un promedio de 30 citas por artículo y una media de 3 citas por año. La tendencia en la producción académica en revistas refleja el creciente interés y la importancia de las tecnologías IoT en la agroindustria para ser reportadas en medios formales científicos.

Como se aprecia en la Tabla 4, en 2018 solo se registró una publicación en revista, pero este número aumentó drásticamente en los años siguientes, alcanzando su punto máximo en 2022 con nueve artículos en revistas y tres tesis. Este crecimiento reciente explica lo joven que es la literatura en el campo de estudio. La distribución de la cantidad de publicaciones relacionadas con la aplicación de IoT en captura y análisis de sonido entre los diferentes campos de aplicación, denota que existe un importante interés en áreas puntuales como la avicultura y ganadería, pero un vacío muy relevante en áreas clave del desarrollo sostenible como lo son la ecología y la apicultura. (Ver Tabla 5).

La diversidad de hardware IoT empleado refleja que la captura y análisis de sonido suele estar vinculada a otros intereses en la aplicación de esta tecnología, como se evidencia en la Tabla 6. Se identificaron en la

literatura muchos elementos que reportaron experiencias de investigación en aspectos relacionados con captura de sonido (códigos 18-19-28-29-31-34-37-38-39) y grabación de audio (código 37). No obstante, la literatura que fue seleccionada para el estudio también reportó la utilización de otros dispositivos como sensores ambientales (códigos 2-14-19-20-29-34-35) y cámaras (códigos 1-10-27-29-30-34-36-39). Esto refiere a que, en estos estadios tempranos de la aplicación de este tipo de tecnología, se piensa en aplicaciones generales y no específicas. Al contrastar esta información del hardware con la del software (Tabla 7) notamos que existe una relación marcada entre el hardware y software de captura y registro de sonido. Los documentos codificados como 18-19-31-34-39 contenían elementos de hardware y software orientados a la captura y registro de sonido. Lo interesante es que el análisis que se podría sistematizar de forma más eficiente por medio de aprendizaje automático y AI, no representó mayor relación. Solo 2 elementos de literatura (códigos 29 y 39) reportaron hardware de captura de sonido y utilización de esos elementos de análisis. Esto implica que hay mucho por hacer en cuanto a incrementar los esfuerzos para utilizar más tecnología de aprendizaje automático y AI.

El estudio identificó aspectos relevantes sobre las características de la investigación en IoT aplicada a la captura y análisis de sonido en agroindustria. Para ello, se contrastaron elementos específicos presentes en la literatura científica, cuyos resultados se presentan en las Tablas 8 a 13. Acompañando la presentación de cada uno de los contrastes, se indicó en el texto anexo a cada tabla, la mayor cantidad de coincidencia en la literatura. Así, por ejemplo, en el caso del contraste entre las preguntas de investigación y los principales hallazgos (Tabla 8) menciona que mucha literatura se orientaba a preguntas de investigaciones relacionadas con la gestión y con hallazgos correspondientes a investigación aplicada. En el caso del contraste de trabajos futuros con principales hallazgos (Tabla 12), la mayor cantidad literatura que reportaba hallazgos relacionados con investigación aplicada, sugiere como trabajos para el futuro precisamente el incrementar la investigación y desarrollo en tecnología de IoT para la captura y análisis de sonidos en agroindustria.

En este sentido, en lugar de reiterar consideraciones previas, resulta pertinente destacar los vacíos identificados en la literatura al comparar estos elementos formales de la investigación.

Por ejemplo, no existen trabajos de investigación orientados a la gestión del uso de IoT captura y análisis de sonido y que hayan evaluado el impacto de la aplicación de dicha tecnología. Del mismo modo, por la misma naturaleza de la juventud de este campo de investigación, no se han desarrollado protocolos suficientes que hayan sido utilizados en investigación aplicada. Falta también desarrollar más investigación en el desarrollo de tecnología y, en general, se deben desarrollar más

revisiones de literatura como objetivo puntual de la investigación de IoT aplicada a captura y análisis de sonido en agroindustria.

Al contrastar las preguntas de investigación con las limitaciones obtenidas, en pocos casos se nota la ausencia de limitaciones. El caso más llamativo es el de la ausencia total de limitaciones en la capacitación-adopción en estudios enfocados en el desarrollo de protocolos o sistemas, así como aquellos orientados a la investigación en general. El reporte de limitaciones en muchos estudios enfocados a diversos objetivos reforzaría el hecho de que estamos en presencia de un campo de desarrollo relativamente que tiene que solventar muchos problemas prácticos para su desarrollo.

Lo más destacado en cuanto al contraste de las preguntas de investigación y los trabajos futuros es la ausencia de recomendaciones de trabajos futuros para el desarrollo de protocolos-sistemas para la evaluación del impacto y sostenibilidad y el desarrollo de políticas. En este sentido de ausencia de este tipo de sugerencias de trabajos futuros, se refuerza lo indicado anteriormente respecto a que existe un vacío muy relevante en áreas clave de la potencial aplicación de IoT en captura y análisis de sonido para temas relacionados con el desarrollo sostenible, específicamente en el caso de la ecología y la apicultura. (Ver Tabla 5)

Otro contraste interesante es el que se presenta entre las limitaciones y los principales hallazgos. No existen hallazgos relacionados con desarrollo de tecnología con limitaciones en capacitación-adopción ni metodológicas-implementación. Esto permite inferir que es relativamente simple encontrar ayuda para desarrollar tecnología de IoT y su correspondiente implementación.

Finalmente, la relación entre los trabajos futuros y los principales hallazgos, así como entre los trabajos futuros y las limitaciones, evidencia una brecha significativa en la aplicación de IoT para la captura y análisis de sonido en agroindustria, especialmente en su vínculo con la sostenibilidad, un aspecto que ya había sido señalado previamente.

Conclusiones

Este artículo expone los resultados de una revisión sistemática de la literatura, realizada con el propósito de identificar y analizar estudios sobre el uso de IoT en la captura y análisis de sonido en agroindustria. La investigación se centró en aspectos específicos, como el análisis bibliométrico básico y las características de los estudios desarrollados en este campo.

La bibliometría de los elementos de literatura consultados revela que el campo de investigación relacionado con la aplicación de IoT en captura y análisis de sonido es muy incipiente. Si bien es cierto se utiliza una importante cantidad de dispositivos de hardware relacionados con la captura y registro de datos relacionados con sonidos, el uso de software como elementos de aprendizaje automático y otros elementos de AI

parecen ser muy incipientes. Definitivamente, aquí hay un campo importante de desarrollo futuro. Por otro lado, en cuanto a las características de la investigación realizada, la misma juventud de la investigación indica que se está en este momento en un estado de formación de los intereses de investigación que tenderá a clarificarse conforme pase el tiempo.

La principal limitación de este estudio indudablemente es la poca literatura disponible que cumpliera con los elementos metodológicos de selección de la información. No obstante, el abordaje metodológico, en cuanto al proceso de selección y análisis de la información brindan una base interesante para guiar futuros trabajos similares a este, o actualizaciones de hecho de este mismo estudio para un momento en el cual exista mucha más literatura.

En línea con esto último, la recomendación general de trabajos futuros es continuar desarrollando más prototipos relacionados con la captura y análisis de sonidos en agroindustria, ojalá, en áreas tan importantes como la ecología y la apicultura. A este desarrollo futuro de prototipos, se recomienda un abordaje más profundo de más análisis de los datos resultantes para lo cual, aspectos como el aprendizaje automático y la AI en general, representan una promesa de enfoque fructífero desde el punto de vista formal de investigación.

Referencias

Abd Aziz, N. S. N., Mohd Daud, S., Dziyauddin, R. A., Adam, M. Z., & Azizan, A. (2021). A review on computer vision technology for monitoring poultry farm—Application, hardware, and software. *IEEE Access*, 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047818>

Abdollahi, M., Giovenazzo, P., & Falk, T. H. (2022). Automated beehive acoustics monitoring: A comprehensive review of the literature and recommendations for future work. *Applied Sciences*, 12(8), 3920. <https://doi.org/10.3390/app12083920>

Adesipo, A., Fadeyi, O., Kuca, K., Krejcar, O., Maresova, P., Selamat, A., & Adenola, M. (2020). Smart and climate-smart agricultural trends as core aspects of smart village functions. *Sensors*, 20(21), 5977. <https://doi.org/10.3390/s20215977>

Ajao, L., Adedokun, E. A., Mua'zu, M. B., & Agajo, J. (2021). Smart embedded wireless system design: An Internet of Things realization. *International Journal of Automation and Smart Technology*, 11(1), Article 2146. <https://doi.org/10.5875/ausmt.v11i1.2146>

Ali, M. A., Sharma, A. K., & Dhanaraj, R. K. (2024). Heterogeneous features and deep learning networks fusion-based pest detection, prevention and controlling system using IoT and pest sound analytics in a vast agriculture system. *Computers and Electrical Engineering*, 116, 109146. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109146>

Astill, J., Dara, R. A., Fraser, E. D. G., & Sharif, S. (2018). Detecting and predicting emerging disease in poultry with the implementation of new technologies and big data: A focus on avian influenza virus. *Frontiers in Veterinary Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00263>

Bankinter & Accenture. (2011). *El internet de las cosas*. Fundación de la Innovación Bankinter. Recuperado el 16 de junio de 2024 de https://www.fundacionbankinter.org/wp-content/uploads/2021/09/Publicacion-PDF-ES-FTF_IOT.pdf

Camargo Jáuregui, W. H. (2016). *Las TIC y su aplicación en la captura y análisis de datos relacionados con el ruido ambiental en el contexto físico de la Universidad Francisco de Paula Santander*. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medioambiente. Recuperado de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3082>

Chen, G., Li, C., Guo, Y., Shu, H., Cao, Z., & Xu, B. (2022). Recognition of cattle's feeding behaviors using noseband pressure sensor with machine learning. *Frontiers in Veterinary Science*, 9:822621. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.822621>

Espinoza Ortiz, C. E., & Sandoval Sandoval, E. G. (2022). Protocolo para telemetría por medio de la tecnología celular GSM y SMS empleando el microcontrolador Arduino. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/113803>

Guntoro, B., Hoang, Q. N., A'yun, A. Q., & Rochijan. (2019). Dynamic responses of livestock farmers to smart farming. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 372(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/372/1/012042>

Hoye, T., August, T., Balzan, M., & Biesmeijer, K. (2023). Modern approaches to the monitoring of biodiversity (MAMBO). *RIO Journal of Research and Innovation*, 10(1). <https://doi.org/10.3897/rio.9.e116951>

Iannace, G., Trematerra, A., & Lombardi, I. (2021). Effects of nightlife noise in a city center. *Noise Mapping*, 8(1), 228-235. <https://doi.org/10.1515/noise-2021-0018>

Imoize, A. L., Odeyemi, S. D., & Adebisi, J. A. (2020). Development of a low-cost wireless bee-hive temperature and sound monitoring system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI)*, 8(3), Article 3. <https://doi.org/10.52549/ijeai.v8i3.2268>

Juárez, R. (2023). Ganadería de precisión, una revisión a los avances dentro de la avicultura enfocados a la crianza de pollos de engorde. *Prisma Tecnológico*, 14(1), 38-48. <https://doi.org/10.33412/pri.v14.1.3652>

Karar, M., Reyad, O., Abdel-Aty, A.-H., Owyed, S., & Hassan, M. (2021). Intelligent IoT-aided early sound detection of red palm weevils.

Computers, Materials & Continua, 69(3), 4095–4111.
<https://doi.org/10.32604/cmc.2021.019059>

Kleanthous, N., Hussain, A., Khan, W., Sneddon, J., & Liatsis, P. (2022). Deep transfer learning in sheep activity recognition using accelerometer data. *Expert Systems with Applications*, 207, 117925.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117925>

Klotz, D. F., Ribeiro, R., Enembreck, F., Denardin, G., Barbosa, M., Casanova, D., & Teixeira, M. (2020, agosto 17). Estimating action plans for smart poultry houses. *arXiv*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.07356>

Krishnan, S., Prasanth, N., Ralphin, J. B., & Rajalakshmi, N. (2022). *Cloud IoT systems for smart agricultural engineering*. Routledge & CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003185413>

Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164–173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>

Mahfuz, S., Mun, H.-S., Dilawar, M., & Yang, C.-J. (2022). Applications of smart technology as a sustainable strategy in modern swine farming. *Sustainability*, 14(5), 2607. <https://doi.org/10.3390/su14052607>

Márquez Guerrero, C. S. (2019). *Internet de las cosas aplicado al sector avícola de Santander (Colombia): Prototipo orientado a una empresa del área metropolitana de Bucaramanga*. Universidad Autónoma de Bucaramanga.
<https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/7276>

Martinez-Rau, L. S., Chelotti, J. O., Ferrero, M., Galli, J. R., Utsumi, S. A., Planisich, A. M., Rufiner, H. L., & Giovanini, L. L. (2023, agosto 28). A noise-robust acoustic method for recognizing foraging activities of grazing cattle. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.14824>

Martinez-Rau, L. S., Chelotti, J. O., Ferrero, M., Utsumi, S. A., Planisich, A. M., Vignolo, L. D., Giovanini, L. L., Rufiner, H. L., & Galli, J. R. (2023). Daylong acoustic recordings of grazing and rumination activities in dairy cows. *Scientific Data*, 10(1), 782.
<https://doi.org/10.1038/s41597-023-02673-3>

Mazon-Olivo, B., & Pan, A. (2022). Internet de las cosas: Estado del arte, paradigmas computacionales y arquitecturas de referencia. *IEEE Latin America Transactions*, 20(1), Article 1.
<https://doi.org/10.1109/TLA.2022.9662173>

Monta, C., Ayala, P., Cáceres, J., García, C. A., & García, M. (2020). Control difuso de bajo costo para sistemas de calefacción en avícolas. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, N.º E37, 180–193.

<https://www.proquest.com/openview/af4853282a08b4be33c2bfeb4d8ca239/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>

Morone, S., Dimauro, C., Gambella, F., & Cappai, M. G. (2022). Industry 4.0 and precision livestock farming (PLF): An up to date overview across animal productions. *Sensors*, 22(12), 4319. <https://doi.org/10.3390/s22124319>

Mrozek, D., Górny, R., Wachowicz, A., & Małysiak-Mrozek, B. (2021). Edge-based detection of varroosis in beehives with IoT devices with embedded and TPU-accelerated machine learning. *Applied Sciences*, 11(22), 11078. <https://doi.org/10.3390/app112211078>

Mulla Suquisupa, C. A. (2023). *Industria 4.0: Inmersión de las empresas españolas en la cuarta revolución industrial. Caso de estudio: Gestamp Smart Factory* [Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid]. UVaDoc. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/63614>

Neethirajan, S. (2020). *Digitalization of Animal Farming*. <https://doi.org/10.20944/preprints202007.0040.v1>

Neethirajan, S. (2022). Affective state recognition in livestock—Artificial intelligence approaches *Animals*, 12(6), 759. <https://doi.org/10.3390/ani12060759>

Neethirajan, S., & Kemp, B. (2021). Digital livestock farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 32, 100408. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2021.100408>

Ngo, H. Q. T., Nguyen, T. P., & Nguyen, H. (2020). *Research on a low-cost, open-source, and remote monitoring data collector to predict livestock's habits based on location and auditory information: A case study from Vietnam*. *Agriculture*, 10(5), 180. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050180>

Odintsov Vaintrub, M., Levit, H., Chincarini, M., Fusaro, I., Giammarco, M., & Vignola, G. (2021). Review: Precision livestock farming, automats, and new technologies: Possible applications in extensive dairy sheep farming. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 15(3), 100143. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100143>

Ojo, R. O., Ajayi, A. O., Owolabi, H. A., Oyedele, L. O., & Akanbi, L. A. (2022). Internet of things and machine learning techniques in poultry health and welfare management: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107266. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107266>

Pavličková, M., Mojžišová, A., & Pócsová, J. (2022). Hoshin Kanri process: A review and bibliometric analysis on the connection of theory and practice. *Processes*, 10(9), 1854. <https://doi.org/10.3390/pr10091854>

Prats Rosa, J. (2022). *Estudio de una aplicación IoT para diagnóstico de sistemas industriales* [Trabajo final de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPCommons.

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/380432>

Radhika, R., Shobana, M., Balasaraswathi, V. R., Fancy, C., & Shamala, L. M. (2022). *An automated irrigation system with movement and sound detection sensor for crop shielding*. In *2022 7th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)* (pp. 38–44). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ICCES54183.2022.9835897>

Raghu, R., Jayaramaan, V., Jayaraman, J., Nukala, S. S. V., & Montenegro-Marin, C. E. (2022). *A user-centered security approach to create an IoT-based multi-layered fog-cloud architecture for data optimization in raised bed farming*. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 12(6), 767–776.

<https://doi.org/10.18280/ijss.120614>

Ritchie, S. M., Young, L. M., & Sigman, J. (2018). Comparison of selected bibliographic database subject overlap for agricultural information. *Issues in Science and Technology Librarianship*, (89).

<https://doi.org/10.29173/istl1727>

Romaneo, J. (2017). The current global situation and challenges of RPW management programs. En *Proceedings of the Scientific Consultation and High-Level Meeting on Red Palm Weevil Management* (pp. 85–95). FAO.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8b2c1cb2-1856-47ec-b072-6b74bd38abde/content#page=93>

Rotaru, A., Vâtcă, A., Pop, I., & Andronie, L. (2022). *Artificial intelligence, a possible solution for agriculture and animal husbandry sector? Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*, 78(2).

<https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:2021.0004>

Rotz, S., Duncan, E., Small, M., Botschner, J., Dara, R., Mosby, I., Reed, M., & Fraser, E. D. G. (2019). *The politics of digital agricultural technologies: A preliminary review*. *Sociologia Ruralis*, 59(2).

<https://doi.org/10.1111/soru.12233>

Schuller, B. W., Akman, A., Chang, Y., Coppock, H., Gebhard, A., Kathan, A., Rituerto-González, E., Triantafyllopoulos, A., & Pokorny, F. B. (2024). *Ecology & computer audition: Applications of audio technology to monitor organisms and environment*. *Heliyon*, 10(1), e23142.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23142>

Spanaki, K., Sivarajah, U., Fakhimi, M., Despoudi, S., & Irani, Z. (2022). *Disruptive technologies in agricultural operations: A systematic review of AI-driven AgriTech research*. *Annals of Operations Research*, 308(1), 491–524. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03922-z>

Trujillo Burbano, I. A. (2022). *Diseño de una red LoRa que permita la interconexión de sensores inalámbricos en la ciudad de Riobamba bajo el concepto de smart cities* [Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20831>

Williamson, K., & Johanson, G. (Eds.). (2017). *Research methods: Information, systems, and contexts* (2^a ed.). Chandos Publishing. <https://books.google.co.cr/books?id=GVPXDgAAQBAJ>

Zheng, H., Zhang, T., Fang, C., Zeng, J., & Yang, X. (2021). Design and implementation of poultry farming information management system based on cloud database. *Animals*, 11(3), 900. <https://doi.org/10.3390/ani11030900>

