

**IOT en la productividad y sostenibilidad de la agroindustria de Boyacá: Una revisión
sistemática de la literatura**

Carlos Alejandro Martínez Leguizamo

Facultad de ingeniería Industrial, Universidad Santo Tomas

Proyecto Investigativo

Director del proyecto: Daniel Muñoz Rojas

Noviembre 2024

TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen	9
1.1. Abstract	11
1.2. Palabras Claves	13
1.3. Keywords	13
2. Línea de investigación.....	14
3. Introducción	15
3.1. Motivaciones de la Investigación.....	17
4. Problema y Planteamiento	18
4.1. Preguntas de investigación.....	19
5. Justificación.....	20
6. Objetivos	22
6.1 Objetivo General.....	22
6.2 Objetivos Específicos.....	22
7. Alcance.....	23
8. Referencial Marco	25
8.1 Teórico Marco.....	30
8.1.1 Productividad	30
8.1.2 Sostenibilidad	31
8.1.3 Agroindustria.....	32

8.1.4 Agroindustria en Colombia	33
8.1.5 Agroindustria en Boyacá.....	34
8.1.7 Riego de Cultivos	37
8.1.8 Monitoreo ambiental	38
8.1.9 Automatización	38
8.1.10 Predicción de cultivos	39
8.3 Marco legal	40
8.3.1 Legislación internacional.	40
8.3.2 Legislación Nacional.....	42
9. Marco Metodológico	45
9.1 FASE 1 (Revisión sistemática Iot en la agroindustria).....	45
9.1.1 Identificación de las Necesidades para Realizar la Revisión Sistemática.....	47
9.1.2 Protocolo de Revisión.....	47
9.1.3 Medida del resultado	50
9.1.4 Aplicación	50
9.1.5 Criterios para la selección de fuentes	50
9.1.6 Identificación.....	51
9.1.7 Proceso de eliminación.....	51
9.1.8 Proceso de selección.....	52
9.1.9 Estudios seleccionados	52

9.1.9 Análisis de co-ocurrencias	55
9.2 Segunda fase: Principales aplicaciones de IoT	57
9.2.1 Selección de principales aplicaciones de IOT en la agroindustria	57
9.3 Tercera fase: Análisis de estudios y empresas enfocadas en el departamento de Boyacá y	57
Entrevista con expertos de IoT	57
9.3.1.1 Metodología de la entrevista	58
9.3.1.2 Análisis de la entrevista.....	59
10. Cronograma.....	60
11. Resultado	62
11.1.1 Datos obtenidos proceso de resultados en Excel.....	68
11.2 Aplicaciones de IoT Utilizadas en Estudios de la Agroindustria panorama nacional e internacional.....	73
11.3 Estudios seleccionados Agroindustria en el departamento de Boyacá Colombia	74
11.3.1 Sistemas de Monitoreo Climático y de Suelo.....	74
11.3.2 Gestión Inteligente de Riego	76
11.3.3 Sistemas de Control de Plagas y Enfermedades	78
11.3.4 Sistemas de Automatización y Robótica en Agricultura	80
11.3.5 Análisis de Datos y Modelos Predictivos para Cultivos	81
11.4 Empresas de IoT con aplicación en Boyacá	83
11.5 Fase tres de resultados	87

11.5.2 Análisis de la entrevista.....	90
12. Discusión.....	105
12.1 Optimización del Monitoreo Climático y de Suelo	106
12.2 Riego Inteligente y Controlado.....	108
12.3 Gestión de Plagas y Enfermedades	109
12.4 Automatización y Robótica en Agricultura	110
12.5 Análisis de Datos y Modelos Predictivos	112
13. Conclusiones	113
14. Anexos.....	118
15. Referencias	121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	46
Tabla 2	55
Tabla 3	56
Tabla 4	62
Tabla 5	62
Tabla 6	63
Tabla 7	65
Tabla 8	65
Tabla 9	66
Tabla 10	66
Tabla 11	67
Tabla 12	68
Tabla 13	69

Tabla 14	70
Tabla 15	71
Tabla 16	72
Tabla 17	73
Tabla 18	98
Tabla 19	101
Tabla 20	103

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	24
FIGURA 2	36
FIGURA 3	37
FIGURA 4	54
FIGURA 5	54
FIGURA 6	56
FIGURA 7	61
FIGURA 8	83
FIGURA 9	87
FIGURA 10	89
FIGURA 11	106

1. Resumen

Este proyecto de investigación tiene como propósito examinar, por medio del proceso de revisión sistemática literaria, referente al impacto que supone el Internet de las Cosas (IoT) visto desde un proceso de mejora en productividad y la sostenibilidad en la agroindustria global, nacional y como sus principales aplicaciones vienen siendo trabajadas dentro del departamento de Boyacá (Colombia), por medio del proceso de recopilación de artículos y documentos bajo una diferentes procesos y criterios con relación directa, con cada uno de los objetivos que se plantearon dentro de la investigación. El objetivo principal es identificar cómo las tecnologías IoT pueden generar una optimización en los procesos agrícolas, mejorando el uso de recursos y logrando aumentar basado en indicadores de productividad y sostenibilidad.

La metodología emplea una revisión sistemática de estudios PRISMA la cual prioriza en una mayor proporcionalidad de enfoque estructurado para identificar, seleccionar y sintetizar la información final de una serie de estudios de manera específica y rigurosa ante los estudios finalmente seleccionados. Haciendo uso de las ventajas de motores de búsqueda especializados como Scopus, ScienceDirect, Google Académico y SciELO para dar con estudios con el mayor grado de veracidad. Con la intención de generar un concepto más específico se efectuaron dos entrevistas a dos profesionales con una amplia experiencia en las temáticas del presente proyecto investigativo, desde profesional en IoT y uso de dispositivos inteligentes, hasta profesional agrícola dentro del departamento de Boyacá.

Los estudios cumplieron con el proceso de selección PRISMA, lo que permito tener 30 estudios investigativos finales que van desde un panorama global de trabajos realizados en el mundo y latino América hasta un panorama local.

Cada resultado muestra la creciente disponibilidad de tecnología IoT como robótica, sensores, dispositivos móviles, software y drones que le permiten a los agricultores y demás interesados en tiempo real entender cada una de las variables enfocadas a las 5 aplicaciones de la IoT resultantes como lo son el monitoreo del clima, gestión inteligente de riego, control de plagas, automatización en robótica y análisis de datos en predicción de cultivos.

En conclusión, el proyecto demuestra que la implementación de IoT pueden subsistir de manera armoniosa junto con el campo, enfocándose en aspectos en los que los índices de productividad y sostenibilidad dentro de la agroindustria generan mayor impacto y como dichas mejoras pueden generar cambios en como el pequeño y mediano agricultor mejore sus procesos agrícolas.

1.1. Abstract

This research project aims to examine, through a systematic literature review process, the impact of the Internet of Things (IoT) as a means of improving productivity and sustainability in the global and national agroindustry. It also explores how its main applications are being implemented within the department of Boyacá (Colombia) by collecting articles and documents through various processes and criteria directly related to each of the research objectives. The primary goal is to identify how IoT technologies can optimize agricultural processes, improve resource utilization, and enhance productivity and sustainability based on key indicators.

The methodology follows a systematic PRISMA review (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), prioritizing a structured approach to identify, select, and synthesize relevant studies in a rigorous manner. Specialized search engines such as Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, and SciELO were used to find studies with the highest degree of reliability. To develop a more specific understanding, two interviews were conducted with professionals with extensive experience in the project's key areas, including an IoT and smart device specialist and an agricultural professional from the department of Boyacá.

The studies selected through the PRISMA process resulted in 30 final research papers, covering a global perspective of studies conducted worldwide and in Latin America, as well as a local perspective.

Each result highlights the increasing availability of IoT technologies such as robotics, sensors, mobile devices, software, and drones, which allow farmers and other stakeholders to monitor, in real time, various agricultural variables. These variables are categorized into five key IoT applications: climate monitoring, smart irrigation management, pest control, robotic automation, and data analysis for crop prediction.

In conclusion, the project demonstrates that IoT implementation can coexist harmoniously with agriculture by focusing on areas where productivity and sustainability indicators in the agroindustry have the greatest impact. Additionally, these advancements can drive changes that help small and medium-sized farmers improve their agricultural processes.

1.2. Palabras Claves

Tecnología IoT, Agroindustria, Sostenibilidad, Productividad, dispositivos inteligentes, Drones, Análisis de datos, Pequeños y medianos agricultores.

1.3. Keywords

IoT technology, Agribusiness, Sustainability, Productivity, Smart devices, Drones, Data analysis, Small and medium-sized farmers.

2. Línea de investigación

El campo de estudio se centra en el Desarrollo Organizacional Sustentable como línea investigativa, una perspectiva que aspira a incorporar la sostenibilidad y la eficiencia en los procedimientos organizativos, particularmente en el sector agroindustrial.

Desde GISPA (Gestión Integral de los Servicios y Productividad agroindustrial), el estudio investiga cómo se puede administrar de manera holística los servicios y procesos de producción para potenciar la eficiencia sin afectar el medio ambiente. El presente enfoque se limita bajo el desarrollo sostenible el cual es muy importante en el propósito de respaldar a los agricultores en el proceso de implementación de tecnologías y buenas prácticas que mejoren la producción, salvaguarden el ecosistema y se genere el proceso en donde se definan las normas de sostenibilidad en sus actividades cotidianas. Al incluir importantes herramientas como sensores, robótica, análisis de datos en tiempo real y finalmente la automatización, fomentando un mayor equilibrio entre el avance agroindustrial y la protección del medio ambiente, generando un efecto de gran impacto positivo en la productividad en un panorama que se divide en global, nacional y regional.

3. Introducción

El uso de tecnologías de la información se ha utilizado como herramientas de búsqueda de información en los primeros años de su masificación. A mediados de los años 2000 se implanto un nuevo concepto, que busco la inclusión de objetos cotidianos a la red mundial de información. A estas nuevas tecnologías se les conoce como IoT.

Actualmente en desarrollo, el Internet de las Cosas es una tecnología que cuenta con numerosos avances y desarrollos propios del campo en el que se utiliza. El uso de IoT en objetos que normalmente no se comunican ni generan ninguna información está progresando en numerosas naciones de todo el mundo gracias a estas conexiones. Con varios avances y desarrollos propios de su sector, el Internet de las Cosas es una tecnología que se encuentra en su fase inicial de desarrollo. Dichos objetos se delimitan bajo una comunicación con cada uno de los usuarios y usados en el proceso de transmisión de datos por medio del internet, dentro de los objetos se destacan relojes, variedad de electrodomésticos, en su gran mayoría variedad de máquinas, cámaras multiespectrales y diversidad de sensores (Durán, 2019, p.4).

En países como Colombia, la agricultura desempeña un papel de importancia principalmente enfocada en lo que concierne a la producción de alimentos que llega a las diferentes ciudades del país, bajo una necesidad en el proceso de utilización de diferentes dispositivos tecnológicos los cuales tienen el propósito de generar fortalecimiento en los procesos agrícolas. Diferentes dispositivos tecnológicos como los son clases de sensores, drones y sistemas de

información geográfica los cuales tienen el objetivo en la recolección e información en tiempo real para la valoración del desempeño que presentan los cultivos.

En un mundo cada vez más marcado por el denominado cambio climático, se hace de vital importancia la intensificación de la incidencia del proceso de eventos meteorológicos extremos, también ha asumido un papel crucial en el fomento de la producción en cada uno de los procesos agrícolas. (Kwang, 2021).

Históricamente, Boyacá ha sido una región con una vocación agrícola, destacando por una alta fertilidad de los suelos y una diversidad climática, en materia agroindustrial, Boyacá ha contado históricamente por un desarrollo social limitado en torno a los sistemas de producción (Ruge, Jiménez, & Torres, 2021). De igual manera, la sostenibilidad en el tiempo es limitada debido a que en ocasiones algunos factores como la falta de tradición industrial, la ausencia de mecanismos asociativos y fallas en la adopción de estrategias de comercialización y adopción de nuevas o denominada tecnologías emergentes han retrasado su desarrollo.

Esta transición hacia el proceso de incorporación de tecnologías avanzadas y a la vanguardia se hace mediante la interconexión en tiempo real plantea una oportunidad para que la agricultura sea más eficaz y flexible, abordando los desafíos actuales y futuros en un mundo en constante cambio (Suma, 2021). Basado en el proceso de comprender cómo la agroindustria en Boyacá puede coexistir de manera armoniosa.

3.1. Motivaciones de la Investigación

La decisión de involucrarme en el ámbito del Potencial de la Tecnología o también conocido como IoT y el análisis de sus aplicaciones en favor de la Agroindustria de Boyacá, se fundamenta en el interés por el campo de la región a la que pertenezco y de la cual soy consciente de que son muchos los aspectos de mejora en productividad y sostenibilidad.

Desde la línea de estudio llevada a cabo en la materia cursada de producción agroindustrial fueron muchos los conocimientos y apartados que permitieron un contexto más amplio de la agroindustria del departamento de Boyacá y como desde el perfil de ingeniero industrial, poder generar cambios significativos que contribuyan a un sector en donde las posibilidades de mejora y optimización son infinitas.

La búsqueda incesante de la posibilidad de emplear la IoT para mejorar los procesos agrícolas, optimizando recursos y aumentando la eficiencia, representa un desafío apasionante que deseo abordar con compromiso, por medio del desarrollo del presente proyecto investigativo.

4. Planteamiento de problema

Actualmente en la agroindustria del departamento de Boyacá se evidencia que no hay un manejo en la información y un mayor conocimiento en el desarrollo por medio de tecnologías que ayuden a desarrollar el crecimiento agrícola, en donde el estímulo de la investigación en cada uno de los territorios se debe consolidar en el conocimiento del cómo aprovechar la tecnología y en el potencial que puede llegar a dar (Cerón, 2020). Acceder a nuevas tecnologías y procesos creativos que aumenten la productividad y eficiencia de sus explotaciones y las hagan más rentables es el principal reto de los pequeños y medianos productores.

Dentro del plan de desarrollo productivo publicado por la gobernación de Boyacá enfatiza en primera medida la falta de estrategias y alternativas innovadoras de carácter tecnológico para el sector, sumado al no acompañamiento desde las instituciones, genera técnicas actuales que se quedan en procesos convencionales y poco sostenibles, dichas técnicas no son suficientes ante la situación actual de dar cumplimiento a la cantidad de producto en aumento a nivel agropecuario. Por lo que el reto en términos de la identificación de literatura científica relacionada al uso de la IoT en la agroindustria es necesario para tener conocimiento frente a los dispositivos tecnológicos con principal enfoque en el departamento de Boyacá.

Es por eso por lo que se busca responder las siguientes preguntas.

4.1. Preguntas de investigación

¿Cuáles son las aplicaciones actuales y potenciales de la tecnología IoT dentro de la agroindustria del departamento de Boyacá Colombia?

¿Qué ventajas y retos se vinculan con la implementación de la tecnología IoT en el sector?

¿Qué estrategias se pueden sugerir para promover el proceso de integración de tecnología IoT en la agroindustria de Boyacá?

5. Justificación

El presente proyecto investigativo respalda su importancia al abordar el proceso principal enfocado en una necesidad de una transformación significativa de la agroindustria, en la búsqueda de abordar retos actuales en términos de productividad y sostenibilidad, siendo el primero el mecanismo por el cual se promueven una serie de prácticas agrícolas más sostenibles, eficientes y con adaptabilidad a las condiciones de la agroindustria colombiana, principalmente a nivel local en el departamento de Boyacá.

A nivel internacional, los países globalmente desarrollados, como los Estados Unidos, son pioneros en términos de los progresos notables en la aplicación de tecnologías de IoT a través de contribuciones que se centran en diversificación en la industria privada, el gobierno y el mundo académico. En América Latina, a pesar de registrar procesos de adopción más lenta de IoT, cada vez se reconoce más su potencial para optimizar los procesos agrícolas, la utilización de recursos naturales destacando principalmente: El agua, la energía, aumento de los rendimientos en las actividades donde se ejecute.

En Colombia, con enfoque exclusivo dentro del departamento de Boyacá, la adopción de dispositivos inteligentes IoT aplicado a la agroindustria ofrecen una oportunidad real, en el proceso de generar transformaciones en el sector y hacerlo más competitivo y sostenible. Sin embargo, es importante tener en cuenta una serie de desafíos identificados, como infraestructura técnica

existente en zonas rurales y el proceso de capacitar a los agricultores en el uso de estas herramientas.

Demostrando y concluyendo que el proyecto presenta un propósito frente a la metodología de integración IoT actualizado en el objetivo de promover prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes que se adapten a las condiciones locales dentro de la región boyacense, mejorando de esta manera la toma de decisiones, reduciendo los porcentajes de desperdicio de recursos naturales tan vitales como el agua y optimizando tareas desempeñadas por humanos, lo que le permite ser más eficiente en otras actividades.

6. Objetivos

6.1 Objetivo General

Identificar el potencial e impacto de las tecnologías IOT en la productividad y sostenibilidad de la agroindustria del departamento de Boyacá Colombia.

6.2 Objetivos Específicos

- ❖ Identificar las aplicaciones actuales y potenciales de la tecnología IoT en la agroindustria Global.
- ❖ Analizar los beneficios y desafíos asociados con la adopción de tecnología IoT enfocado en el departamento de Boyacá.
- ❖ Recomendar estrategias para facilitar la integración de tecnología IoT.

7. Alcance

El presente proyecto investigativo denominado "IoT en la productividad y sostenibilidad de la agroindustria de Boyacá: una revisión sistemática" se centra en el proceso de exploración y de análisis del potencial de los dispositivos inteligentes usados en la agroindustria con principal foco regional en el departamento de Boyacá. El proyecto inicia bajo un proceso de revisión de diferentes tipos de publicaciones que se centran en fechas de publicación que corresponden a periodos de años entre 2017 y 2024, a partir del mencionado proceso se logra reconocer las aplicaciones actuales más relevantes en la tecnología y su utilización en la agroindustria, con base a dichas aplicaciones lograr entender el potencial e impacto que tienen en el agro y como las aplicaciones identificadas han sido trabajados dentro del departamento de Boyacá bajo revisión literaria especializada y científica.

Con la finalidad de dar solución a los objetivos, se aplicará la metodología PRISMA, la cual es conocida por garantizar en términos de calidad y precisión las revisiones de literatura científica. La presente investigación se enfoca hacia el análisis de áreas generales de la agroindustria, pero claves dentro de los procesos productivos, destacando en manejo de cultivos, la gestión inteligente del agua, el monitoreo de suelos, el control de plagas y la optimización de recursos.

El proyecto concluye con el desarrollo de recomendaciones una vez finalizada la metodología PRISMA considerando los beneficios y desafíos identificados durante el desarrollo

investigativo. Esto con el objetivo de establecer un panorama general que incluye las oportunidades que la IoT genera como también los posibles obstáculos que la incorporación de dispositivos inteligentes presenta, siempre bajo los aportes de soluciones relevantes para el fortalecimiento de productividad y sostenibilidad agroindustrial en la región.

FIGURA 1

Delimitación Geográfica



Nota. Delimitación Geográfica. Reproducida de Mapa de

Boyacá, 2017(https://www.educaplay.com/printablegame/2949548mapa_de_boyaca.html)

8. Marco referencial

El marco referencial de la presente investigación establece los fundamentos teóricos y conceptuales que permiten entender los puntos de partida para entender cada una de las perspectivas adoptadas por los autores y las fuentes relevantes, relacionados con los objetivos planteados.

Dentro del contexto del programa colaborativo para el avance tecnológico en el sector agroalimentario, Rodolfo Bongiovanni, uno de sus autores expone la situación actual de la agricultura mundial la cual se enfrenta grandes retos que involucran una gran demanda de alimentos (Bongiovanni et al., 2006). Por medio de la expansión de áreas agrícolas, se suponen soluciones parciales al problema de fondo que radica en la falta de una administración adecuada de los recursos agrícolas. Las ideas para el mejoramiento del uso de recursos surgen a partir de 1970, donde se empezaron a idear nuevos conceptos referentes a la agricultura, con novedosos avances en automatización de maquinaria agrícola (Bongiovanni et al., 2006). En forma complementaria, a finales del año 1980, se lograron incluir nuevos campos que ayudaron en las investigaciones para el manejo localizado y sistematizado de algunas prácticas agrícolas. De esta manera se logra una mayor eficiencia en la utilización y aplicación de insumos, disminuyendo los costos en la producción del cultivo y los impactos ambientales alrededor de estas zonas. Agricultura de Precisión (AP) fue el nombre que recibió esta serie de tecnologías y nuevos conocimientos aplicados al campo agrícola (Gil, 2010).

Los métodos tradicionales para la producción agrícola tienen como falencia el tratamiento homogéneo de las zonas de cultivo, que lleva a realizar acciones correctivas o preventivas sin tener en cuenta que los cultivos presentan subzonas que difieren en sus requerimientos de la media de las condiciones generales en una zona extensa cultivada (Chartuni Mantovani et al., 2006). Con el objetivo final de obtener una serie de sistemas enfocados en la producción que logren un aumento en la competitividad agronómica de una ya estructurada y denominada producción agrícola, fue necesario la inclusión de una serie de técnicas que no solo ayuden a mantener una productividad de los cultivos, sino un aumento sin afectación de maneras abruptas, concientizando y priorizando en la inversión monetaria que se necesita para la producción (Mantovani & Magdalena, 2014). De esta manera, la denominada optimización de la utilización de diferentes insumos a través de nuevas tecnologías y técnicas directamente ligadas con la agricultura de precisión se presenta como una opción básica para un posterior mejoramiento y avance del sector agrícola, buscando el posicionamiento determinado por una estabilidad productiva, maximizando un retorno económico y buscando que la preservación de recursos naturales sea el más alto posible (Mantovani & Magdalena, 2014).

Para el autor del libro “Improved Crop Quality by nutrient Managment” Martin Prevel, la adopción de la agricultura de precisión e incorporación de dispositivos inteligentes, también debe ser vista como ideología para la producción agrícola, supone un potencial para el avance y desarrollo del sistema productivo mediante por ejemplo la optimización para la aplicación de agroquímicos en cultivos y sus suelos (Anac & Martin-Prével, 1999), el estudio detallado de los

lugares de cultivo y su constante vigilancia a través de sensores y sistemas de información, y la prescripción y aplicación racional de recursos hídricos en cada etapa del cultivo. Esto, en consecuencia, refiere a una reducción de costos en principal medida los correspondientes a la producción y contribuye a una mejora significativa en la calidad de las cosechas (Anac & Martin-Prével, 1999) Aunque la agricultura de precisión se trata como una rama de investigación relativamente nueva, se destaca que cuenta con numerosos avances, de esta manera el avanzar en esta disciplina a través de la investigación contribuye a la aplicación y mejoramiento de los conceptos y áreas de importancia para la agricultura de precisión.

Tomando en cuenta el plan de desarrollo productivo publicado por la gobernación de Boyacá (2019), se identificaron varias problemáticas y características expuestas que ha recopilado a lo largo del documento expuesto. En primera instancia, hace mención de la falta de herramientas modernas en el agro colombiano, sector en el que se ha tenido un avance limitado en donde la relación con dicho problema subraya la necesidad de tomar decisiones y posteriores acciones dentro del marco definido por la incorporación tecnológica. En el plan de desarrollo se enfatiza en primera medida la falta de estrategias y alternativas innovadoras de carácter tecnológico para el sector, Este desafío se refleja en el análisis del proyecto de investigación que expone cómo la inocuidad de recursos y falta de conocimientos es generadora de una limitante que impide un correcto proceso de adopción de tecnología 4.0 en Chile. Bajo este lineamiento establecido, y adaptando esta realidad al contexto colombiano, es importante considerar una serie de políticas que implican restricciones para la incorporación de nuevas tecnologías como la N° 1341 de 2009

responsable de determinar los principios Acuña los términos sociedad de la información, TIC y agencias nacionales de frecuencias, necesario para la adecuada gestión de las redes técnicas y uso del espectro electromagnético

Bajo la hipótesis central planteada de que la implementación de tecnologías IoT mejora en términos de productividad y sostenibilidad a nivel agroindustrial, enfocado en la región de Boyacá, caracterizada por seguir con prácticas agrícolas tradicionales como las expuesta en el plan de desarrollo productivo (2019) como lo son la rotación de cultivos, riego manual, uso de abonos, fermentación de abonos y uso de pesticidas. Por lo que la perspectiva adoptada es un enfoque holístico que combina una serie de factores que van desde los tecnológicos, sociales y económicos. Estudios como los de (Velazco, 2020) demuestran que los sensores IoT aumentan el proceso de optimización del agua y sus derivados dentro del 20-30 %, generando mayor productividad en cultivo de alimentos como la papa y el plátano. dichos alimentos se consolidan en países propios como Colombia según estadísticas (Statista, 2024) dado que el plátano, banano y banana es uno de los productos que más se producen a nivel nacional con 2,4 millones de toneladas métricas. Lo que atiende a una solución expuesta de dispositivos inteligentes en la productividad de siembra a cultivos de alimentos propios nacionales y del departamento de Boyacá.

Por su parte (Castaño Sánchez, 2019) define la gran cantidad de aplicaciones generadas de la incorporación y dispositivos inteligentes y la serie de impacto que tiene con áreas como la salud, transporte y en el campo siendo este último uno de los sectores más beneficiado en términos de ventajas bajo la eficiencia de los recursos, mejoras en la rentabilidad y una notable reducción de

los impactos ambientales (Castellanos, 2021). (Franco Agudelo, P. A. ,2019) por su parte define como se generan beneficios en reducción de costos operativos, mejora en la recopilación de datos precisos, mejora en la productividad generada por los empleados, reducción de residuos y reducción de costos fijos. La incorporación de tecnología IoT también genera una serie de desafíos (Castaño Sánchez,2019) menciona la aparición de la obsolescencia programada o tecnológica y el riesgo alto que debe ser tenido en cuenta en cualquier proyecto inicial a que se incorpore dado la inversión que significa.(Lecuit ,2018) expone por su parte factores en términos de ciberseguridad en donde se debe tener en cuenta la seguridad una vez incorporados dispositivos IoT, dicha incorporación tiene requisitos y regulaciones sectoriales en el lugar donde se está ejecutando dicho dispositivo de igual manera deberá tener estricto seguimiento en términos legales y regulatorios relacionados con la protección de datos de cada usuario.

Con un mundo cada vez más orientado a la incorporación de tecnología, Yuvia salinas Anaya describe el concepto de las ciudades inteligentes, las cuales más de ser una idea utópica, son una realidad presente en diversos lugares alrededor del mundo. En donde por medio de una denominada urbe inteligente, se interconectan y se comunican entre sí, ejemplificando la importancia de la incorporación de dispositivos inteligentes y bajo la idea de que los habitantes son beneficiados a través de la implementación de infraestructuras y el uso óptimo de dicha tecnología. Los habitantes de la ciudad. Contribuyen a dar forma a la ciudad, siendo los actores principales en su construcción y dinamismo adoptando la capacidad de ajustarse a las necesidades

de las personas, evolucionando y transformando sus vidas. Vidas que cambian por medio de no solo el potencial, sino el impacto que ya está teniendo en el mundo.

Habiendo definido a nivel referencial, se procede a ampliar las características en términos propios manejados en la presente investigación, por medio del marco teórico.

8.1 Marco teórico

A continuación, se describen cada una de las definiciones puntuales y apartados que son necesarias para el desarrollo del presente proyecto investigativo.

8.1.1 Productividad

Para comenzar, la productividad es una proporción de la producción, que se ha definido como aquellos recursos obtenidos y utilizados para producir o dar servicio a sistemas. En donde la eficiencia de recursos se transforma en la principal medida a la hora de hablar de productividad. Siempre destacando que una productividad incrementada puede describirse como la optimización en los procesos de producción bajo las mismas condiciones, o como la generación de más mediante el uso equivalente de recursos.

. Normalmente, esto se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Producto}}{\text{Insumo}} = \text{Productividad}$$

La productividad también se puede definir y ser entendida como aquel direccionamiento entre lo que es la producción y el tiempo que se tarda en conseguir dicho resultado. El tiempo suele ser un buen denominador, Porque es un método de medición universal que escapa al control humano bajo los dos criterios en cuestión ya sea en cuanto menos y en cuanto más tarde (Prokopenko, 1989, p.3).

Por su parte URUEÑA & MATEUS (2020) es definida como “La productividad es considerada como variable de la competitividad, indicando y señalando el proceso en qué tan bien le está yendo al sistema. Al gestionar los recursos disponibles para lograr objetivos, este liderazgo evolucionó debido al desempeño de los factores humanos” (p.118). Dicho proceso de constante evaluación de niveles productivos laborales se resume bajo los siguientes cuatro factores: Los bienes físicos, la capacidad humana, los recursos naturales y la experiencia técnica.

8.1.2 Sostenibilidad

La sostenibilidad para Hart y Milstein (2003) es un concepto complejo. La compañía enfrenta el desafío de reducir los desechos y prevenir la contaminación en sus operaciones actuales mientras cambia su cartera de capacidad hacia tecnologías más sostenibles y opciones de tecnología limpia.

Tomando como parámetro una definición de sostenibilidad, (Elkington,1999) sugirió desde las bases el concepto de sostenibilidad como esencial en el desarrollo de tareas complejas lo que

interfiere como la integración de múltiples necesidades con implicaciones de largo plazo para el denominado desarrollo humano.

(Gil y Barcellos, 2009) consideran que la sostenibilidad es vista desde una mirada en donde la necesidad de promover un desarrollo económico tiene que priorizar la búsqueda de sostenibilidad, no solo personal sino colectivo, lo que se ha logrado en las últimas décadas a través de varias cumbres internacionales, convenios y acuerdos para buscar soluciones al respecto.

8.1.3 Agroindustria

La agroindustria es definida como el sector procesador de productos agrícolas con principal enfoque en una serie de actividades económicas con relaciones respecto a temáticas de producción, industrialización y finalmente venta de productos. De esta manera es importante lograr identificar una serie de conceptos como el agronegocio el cual es el proceso de cambiar y agregar valor a los productos agrícolas y finalmente generar un proceso de venta al final de la cadena de valor (Agbar, 2019). Dichos conceptos de la agroindustria son concebidos por el autor como el resultado del desarrollo histórico de la agricultura, ya que incorporan valor a través de la especialización de los recursos humanos, la modernización de los procesos y el constante desarrollo tecnológico, siendo este último pilar fundamental de la presente investigación.

Durante su desarrollo e investigación, la agroindustria ha sido definida de diferentes maneras, La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) la define como: “Este es parte de un concepto más amplio de agronegocios que incluye a los proveedores de insumos

agrícolas. Agricultura, Pesca y Silvicultura y comerciantes de materias primas alimentarias y no alimentarias.” (Buitrago, 2017, p. 2).

8.1.4 Agroindustria en Colombia

El sector agrícola en Colombia se refiere a todas las actividades denominadas y posteriormente relacionadas con cada uno de los procesos que incluyen la producción, procesamiento, transformación y comercialización de productos agrícolas y pecuarios. El concepto mencionado incluye no sólo la agricultura y el propio sector ganadero, sino también sectores en donde se añadan una serie de valores a los productos primarios, estos son los alimentos, la producción de biocombustibles, la producción de materias primas agrícolas, etc. La industria es principalmente conocida por su diversidad, desde pequeñas granjas familiares hasta negocios agroindustriales de gran potencial.

En Colombia, el sector agrícola es uno de los más importantes motores en términos de desarrollo económico y social de la población, ocupando las principales ramas en economía del país, destacándose en la industria cafetera, como primer producto agrícola con el mayor grado de valor en términos de porcentajes de productos de exportación, reflejando un valor correspondiente al 74% de crecimiento en el volumen de producción en la última década. (Castrillón, 2023). La producción y exportaciones de flores destaca en Colombia siendo el segundo país con mayor exportación en el mundo. En términos de siembra alimentos el plátano, banano y banana se

consolida debido a las condiciones tropicales de departamentos como Antioquia y Arauca con una producción total correspondiente a 2,4 millones de toneladas métricas (Statista, 2024)

8.1.5 Agroindustria en Boyacá

Boyacá es un departamento de Colombia cuyos indicadores económicos están por debajo del promedio dentro de los porcentajes nacionales. Investigaciones recientes han revelado debilidades en su competitividad, como las mencionadas en el plan de desarrollo productivo de la gobernación de Boyacá, recalcando registros de baja inversión tecnológica, con un limitado acceso a estrategias relacionadas con tecnologías avanzadas. Deficiencias en infraestructura con inadecuado transporte de productos y problemas de sostenibilidad dado que dentro del departamento se prioriza en prácticas agrícolas tradicionales como el uso de herramientas de arado, azadones, machetes, uso de pesticidas y fertilizantes poco sostenibles con el ambiente.

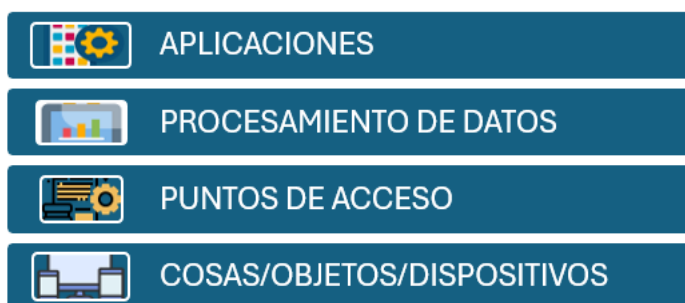
En el plan de desarrollo productivo de la gobernación de Boyacá se exponen alguno de los puntos más importantes dentro del sector agrícola, destacando en el proceso de producción de alimentos como la papa, cebolla, arveja, pepino, arracacha y plátano. En términos de producción de frutas en donde destaca la piña, el aguacate y la papaya, que se ven establecidos gracias a una frontera agrícola de 1.282.956 hectáreas, es decir un 55% del total de su territorio.

De igual manera, dada la ubicación nos permite atender mercados grandes y en crecimiento Región Andina, Magdalena central, Llanos Orientales y Meseta Cundiboyacense hasta por otra parte, las cualidades saludables y fértiles de sus diversos climas le confieren grandes ventajas. Por

otro lado, la industria tiene una rica tradición y experiencia en el campo del transporte, que le permite desarrollar rápidamente planes de logística y distribución rentables (Hernández, 2020, p.2).

8.1.6 Internet de las cosas

No hay una definición universal aceptada para el Internet de las cosas ya que son distintos los sectores como lo son el académico, el investigativo y el industrial en los cuales se han propuesto variedad de interpretaciones por lo que autores la resumen bajo el concepto de: “Una red abierta y en donde los objetos inteligentes tienen la capacidad de autoorganizarse, intercambiar datos, información que nos permite actuar ante acontecimientos en diferentes panoramas” (Somayya Madakam, 2015, p.2).

FIGURA 2*Utilidades de la iot*

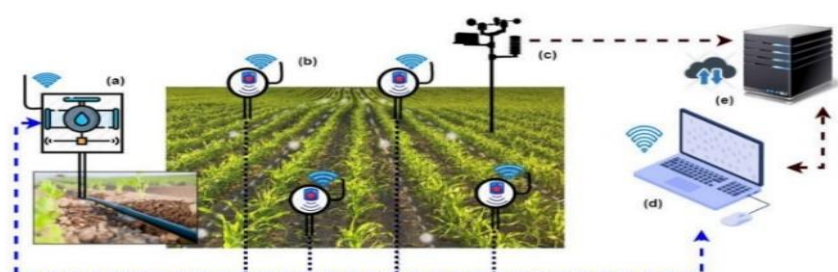
Nota: Fuente elaboración propia

8.1.6.1 Ventajas.

Su función principal es enviar mensajes de un lugar a otro. Rápido, confiable y seguro. La web, su función principal es proporcionar una interfaz de activación. Este proceso se vuelve mucho más importantes tomando en cuenta la medida que la población mundial continúa creciendo. Las personas se convierten en guardianes de la tierra y sus recursos. También las personas quieren una vida sana, satisfactoria y cómoda para ellos y sus familias. Aprovechando los futuros conjuntos de oportunidades de desarrollo Internet de las cosas (IoT) en una serie de actividades básicas para cualquier proceso desde el hecho de recopilación, transmisión, y el posterior análisis de cada uno de los datos, es claro que la gente quiere conocimiento y necesitará sabiduría no sólo para el proceso cotidiano y actividades rutinarias sino también para prosperar en el futuro. (Evans, 2011, p.7).

FIGURA 3

Sistema general Iot aplicada



Nota. Proceso de IoT aplicado al agro. Reproducida de agro inteligencia. (<https://www.agrointeligencia.com.mx/las-seis-tendencias-mas-importantes-en-la-transformacion-digital-de-la-agricultura/>)

8.1.7 Riego de Cultivos

Dentro de la agricultura, el agua es el recurso básico y esencial para un correcto proceso de crecimiento y de desarrollo. La principal amenaza es vista por los efectos correspondientes al denominado cambio climático sobre los patrones de lluvia y la disponibilidad de agua han reducido la disponibilidad de recursos hídricos para la agricultura, lo que finalmente resulta en una pérdida de capacidad productiva en algunas áreas. (López, 2020).

Los sistemas de riego no solo miden, sino que determinan el proceso correspondiente a la reducción de ATD para controlar el riego y satisfacer la demanda de agua de los cultivos y reducir la pérdida de recursos (Nautyal et al., 2010). En general, los sistemas mencionados se planifican sin intervención humana utilizando por primera vez una configuración especial, la implementación de ajustes del programa y la introducción de modificaciones y cambios necesarios (Rodríguez-Ortega et al., 2017).

8.1.8 Monitoreo ambiental

La calidad del aire es visto como factor principal en términos de criterios para el posterior proceso de monitorear las áreas urbanas que afectan la salud humana. En el caso de Colombia, los parámetros de calidad del aire han sido establecidos bajo la consideración de los niveles de calidad del aire necesarios para el bienestar de la población, y determina niveles personales que garantizan la protección de la salud humana. (Hernández R. E., 2020).

8.1.9 Automatización

En los últimos años, el concepto y el poder que genera la automatización dentro de la agricultura ha adquirido una relevancia de vital importancia debido a una serie de características como la del crecimiento poblacional, las necesidades de incrementos de producción de alimentos y del cambio climático. Dentro del aumento de la demanda de recursos agrícolas y el impulso de adopción de nuevas tecnologías avanzan en procesos de producción y reducción de los impactos negativos para el medio ambiente.

En los últimos años, el término en cuestión referente a la automatización dentro del sector agrícola, cobra una gran importancia debido a una serie de factores, entre los que se destaca el continuo crecimiento demográfico, una necesidad de aumentar la producción de alimentos y el irreversible inicio del calentamiento global.

El crecimiento demográfico ha provocado una gran variedad de problemas ambientales que surgen de diversas maneras identificadas con el proceso de identificar y generar la mayor

cantidad de alimentos en un tiempo muy reducido, desarrollado a partir de la tierra destinada a la producción que se ha mantenido prácticamente estática o incluso en grandes procesos de disminución. Para el caso de la denominada agricultura moderna depende de su relación con la tecnología, las ciencias biológicas y la ingeniería. La mecanización de las actividades agrícolas ha aliviado en gran medida el trabajo manual y generado un aumento considerable respecto a la eficiencia y la productividad de las explotaciones agrícolas. (D.K.Sreekantha, 2016)

8.1.10 Predicción de cultivos

La predicción de cultivos se ocupa de un gran conjunto de bases de datos, lo que finalmente genera que este puntual sistema de producción sea un candidato perfecto para la aplicación de metodologías de minería de datos que ayudan en principal medida a adquirir conocimientos para lograr un beneficio significativo respecto a los rendimientos de los cultivos. El éxito de sistemas de predicción del rendimiento de los cultivos depende en gran medida en el proceso conforme se hayan extraído las diferentes series de características y de la forma puntual en la que los denominados clasificadores hayan sido utilizados (Gandge, 2017) . Las malezas y las plagas fueron los principales agentes bióticos que dañan los cultivos, por lo que los agricultores deben estar bien

informados para acceder a las diversas tecnologías de predicción de datos para adquirir conocimientos sobre las aplicaciones de diferentes series de estrategias en las cuales se pueda desarrollar un correcto proceso de control de malezas y plagas y técnicas de gestión para reducir el daño a los cultivos. La recopilación de datos relacionados con las diversas malezas y plagas, el modelado de los datos para prepararse para la minería, la selección de la metodología apropiada, la interpretación y el intercambio de la información se convierten en los principales desafíos en el control de malezas y plagas para proteger los cultivos del daño. (Sagar & Cauvery, 2018)

8.3 Marco legal

A continuación, se describen los apartados en términos de legislación desde los diferentes niveles internacionales y nacionales que resultan esenciales para la estructuración de bases normativas para un correcto proceso en donde se priorice y se garantice la veracidad de la investigación.

8.3.1 Legislación internacional.

La seguridad propuesta relativo de IoT ha generado un continuo impacto tanto a los dispositivos como a los datos que se relacionen. En cuanto a la estandarización, la Directiva 2014/53/UE busca una sinergia entre cada una de las leyes de los Estados miembros para regular la comercialización de equipos que utilizan tecnología radioeléctrica.

De la misma manera, dentro de los apartados de la Ley de Ciber resiliencia tiene como principal objetivo el de establecer las normativas para la venta de productos y software con

componentes digitales, además de ofrecer un marco de requisitos en términos de ciberseguridad en el periodo útil de cada uno de los dispositivos, desde el proceso inicial en planificación hasta su mantenimiento.

En términos de legislación referente a ciberseguridad, son numerosas las directivas que tienen propuestos en sus estamentos involucramiento en el cómo sea utilizado, dentro de estos, se destaca la Directiva 2013/40/UE en donde se establece como prioridad de normas mínimas las necesarias para ejercer un proceso de sanción a cada uno de los responsables de ataques a sistemas informáticos tema en principio que atañe directamente la percepción hacia donde diferentes tipos de tecnologías como IOT están encaminadas y seguirán en los futuros años. La propuesta pactada y mencionada por parte del reglamento del Parlamento Europeo prioriza en dicho proceso de regulación y de la protección de datos personales en el ámbito de las telecomunicaciones, por medio de Directiva 2002/58/CE, en donde se destaca temas regulación de datos en dispositivos IoT para su posterior recopilación de manera segura, basando dicho proceso recopilatorio en el conocimiento de los usuarios, de esta manera la directiva menciona las comunicaciones entre máquinas y como se debe respetar la confidencialidad en la información obtenidas entre cada uno de los dispositivos involucrados, asegurando que no se utilicen para monitoreos indebidos o recopilaciones de datos no autorizados.

❖ Estándares ISO

Para la Organización Internacional de Normalización (ISO) son muchos los desarrollos en términos de estándares relacionados directamente con el Internet de las cosas. Por ejemplo, ISO/IEC 30141 define los principios y requisitos para la gestión de sistemas informáticos seguros.

Este estándar se fundamenta en principal medida en el proceso donde se garantice la seguridad de los dispositivos y la protección de los datos que generan. Además, el estándar ISO/IEC 27000 proporciona orientación sobre la gestión de la seguridad de cada dato informático, que es esencial en un entorno IoT.

8.3.2 Legislación Nacional

Nº 1341 de 2009 responsable de determinar los principios Acunó los términos sociedad de la información, TIC y agencias nacionales de frecuencias, necesario para la adecuada gestión de las redes técnicas y uso del espectro electromagnético. Sumado a esto, contamos con el Reglamento CRC 2020 número 6072 gobernando Recursos, redes y recursos de telecomunicaciones utilizados por Móvil SA Colombia.

Vale resaltar que actualmente sólo existen cuatro países en América Latina que presenten suficiente atención a la tecnología IoT y concéntrese en transformación digital, estos países son Brasil, Costa Rica, Panamá y El Salvador, estos países han priorizado en el establecimiento del Ministerio de Tecnologías Agrícolas, la digitalización del sector agrícola y Buscando

infraestructura de conexión perfecta y monitorización real del territorio. (Pérez, R., Navajas, S., & Terry, E., 2019, p. 15). Por otro lado, Colombia ha experimentado un enorme crecimiento en su sector agrícola, al recoger múltiples solicitudes, necesidades y requerimientos de grandes empresas, por lo tanto, es importante considerar buscar la consolidación desde el Ministerio de Agricultura ya que las herramientas tecnológicas van de la mano de la agricultura colombiana (Pérez, R., Navajas, S., & Terry, E., 2019, pág. 17).

Decreto núm. 1904 (2009): En el que se ejerció el proceso de cambio de estructura del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Decreto 2010 No. 2610 proceso en el cual se reglamenta la Comisión Estatal de Planificación de Programas de relación directa con Ciencia e Innovación.

Contrato 1 (2009) - Administración del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación: El contrato adopta el reglamento interno del Consejo de Incentivos Fiscales a la Ciencia enfatizando en aquellos donde se priorice en el uso de tecnología.

La normativa dentro de Colombia se rige bajo los criterios de Visión 2019 “Fundamentación de ideas de crecimiento y desarrollo en temas relacionados con la ciencia y la tecnología” (2006). En donde este artículo ofrece un importante panorama de la innovación científica y tecnológica en Colombia y, en particular, del desarrollo del sistema científico y tecnológico del país.

-Política de carácter Nacional frente al proceso de fomentación de la Investigación y la Innovación denominado como “Colombia Construye y Siembra Futuro” (mayo de 2008):

El CONPES del CTI es una herramienta para la política nacional y más importante aún, un documento para presentar el trabajo de las agencias gubernamentales en temas de ciencia, tecnología e innovación y su contribución al mismo.

- Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2010- 2014 "Prosperidad para todos":

El CONPES del CTI es uno de los principales instrumentos para la política nacional de CTI, en líneas generales actúa como documento para presentar el trabajo en temáticas directamente relacionadas con la ciencia, la tecnología e innovación y el proceso en el que dichas agencias puedan contribuir de la mejor manera (Políticas CTI, 2015).

9. Marco Metodológico

9.1 FASE 1 (Revisión sistemática Iot en la agroindustria)

Como punto de partida dentro del proceso de abordaje de la problemática previamente identificada, se relacionan una serie de carencias en relación a las estrategias y alternativas de carácter tecnológico involucradas para el sector agroindustrial, el desarrollo de la metodología en su primera fase se llevó a cabo una revisión sistemática denominada PRISMA (Moher et al., 2009). Con el fin de identificar de qué manera dichas alternativas, se han trabajado a nivel nacional e internacional y como dicha aplicabilidad es abordada dentro del departamento de Boyacá. Es por eso por lo que el proceso metodológico empieza con el proceso de examinar los trabajos científicos publicados en bases de datos especializadas que abordan el tema seleccionado.

En el proceso de identificación de la serie de trabajos científicos, se llevó a cabo una búsqueda avanzada en diferentes bases de datos como Scopus, Web of science, Scielo y Google académico, el enfoque principal es la relación entre la interacción entre la tecnología y la agroindustria. Las palabras clave utilizadas fueron "Internet de las cosas" ('Internet of Things') y "agroindustria" ('agroindustry'), la cual desencadena en una ecuación de búsqueda independientemente de si el estudio es nacional o internacional, sin ningún tipo de limitante alguno ya sea en "Internet of Things and agroindustry" o "Internet de las cosas en la agroindustria". Se limitó el alcance temporal de la búsqueda a estudios publicados entre 2017 y 2024. Lo que resulta en el planteamiento e identificación de una serie de palabras claves:

Tabla 1*Estandarización de palabras claves*

Elementos de estudio	Descriptores
IOT	-IOT -Internet Of things
Sector Agroindustrial	-. Agriculture Agribusiness
Agroindustria en Boyacá	-Producción lechera Cultivos de papa Agricultura de precisión, Agricultura sostenible.

Nota. Fuente elaboración propia

Para garantizar que los estudios seleccionados cumplan y estén alineados con la intención del proyecto, se excluyeron aquellos que no establecían una relación directa entre la tecnología IoT y la agroindustria. Además, se eliminaron los artículos duplicados, asegurando así la integridad de los datos recopilados. Con principal foco en los estudios directamente relacionados en la información desde la perspectiva descriptiva y cualitativa.

Para el caso de las revisiones puntuales de literatura, se tomaron en cuenta una serie de medidas con el objetivo de que aquellos estudios identificados no sean repetidos. Si un estudio había sido incluido, se contabilizaba bajo un único análisis, evitando así cualquier redundancia, para que la representación equitativa de los hallazgos sea de la mayor calidad. La revisión sistemática abarcó una serie de pasos con criterios específicos.

9.1.1 Identificación de las Necesidades para Realizar la Revisión Sistemática

- ❖ Identificar las aplicaciones actuales y potenciales de la tecnología IoT dentro de la agroindustria.
- ❖ Analizar los beneficios y desafíos asociados con el proceso de adopción y aprobación de tecnología IoT en el sector.
- ❖ Recaltar una serie de estrategias que permitan la integración de tecnología IoT en la agroindustria.

9.1.2 Protocolo de Revisión

- ❖ Las preguntas de investigación.
 - ¿Cuáles son las aplicaciones actuales y potenciales de la tecnología IoT en la agroindustria del departamento de Boyacá Colombia?
 - ¿Qué ventajas y retos se vinculan con la implementación de la tecnología IoT en el sector?
 - ¿Qué estrategias se pueden sugerir para promover el proceso de integración de tecnología IoT en la agroindustria de Boyacá?
- ❖ Los criterios para seleccionar las fuentes de información y determinación de filtros desde el año de publicación hasta las respectivas conclusiones.

- El proyecto inicia con una revisión de la literatura científica, centrada en publicaciones entre los años 2017 y 2024
- Estudios que analicen directamente la relación entre IoT y agroindustria.
- Exclusión de artículos duplicados y aquellos que no ofrezcan información suficiente o específica.

❖ Las fuentes de información a utilizar.

- Scopus, Web of Science, Scielo y Google Académico

❖ Las cadenas de búsqueda para localizar y seleccionar los estudios relevantes.

- Se utilizan una serie de términos clave como *IoT in agriculture*, *smart farming*, *agrotechnology*, y *sustainability in agroindustry*.

9.1.2.1 Intervención.

Numerosas son las aplicaciones de la tecnología IoT en la agroindustria y el entender los principales enfoques utilizados en cualquier clase de estudios investigativos, genera una implicación directa en el desarrollo de análisis de como las dispositivos IoT, es incorporada y abordada en medios de producción agrícola y agroindustrial, así como identificación de diferentes modelos bisagra y estrategias más frecuentemente utilizadas para incorporar la denominada tecnología 4.0 o tecnología de punta, en los procesos agrícolas. Es por eso por lo que se analiza

como los dispositivos como sensores, drones, cámaras y sistemas inteligentes, son implementados dentro de la agroindustria.

9.1.2.2 Efecto.

Efecto generado por medio del Impacto que tiene la tecnología IoT en la agroindustria dada la generación de oportunidades en relación a como la optimización de los diferentes procesos agrícolas pueden generar una serie de factores denominados básicos en actividades representativas como: Siembra, ganadería y aprovechamiento de productos involucrando factores como temperatura y agua, entendiendo como los elementos encontrados bajo sus respectivas aplicaciones específicas están en constante relación con una serie de dispositivos asociados con el internet de las cosas IoT, en donde se destacan sensores, drones, cámaras, herramientas de trazabilidad etc. Lo que genera un proceso de implicación directa donde se examine la correcta adopción de dispositivos en IoT y la correspondiente contribución en relación a la mejora de productividad y sostenibilidad en las actividades agrícolas, así como identificar los desafíos y beneficios asociados con su implementación.

- Optimización de recursos en los procesos agroindustriales analizados.
- Mejoras en relación con los procesos de sostenibilidad y productividad.
- Identificación de desafíos y beneficios asociados con su adopción de la tecnología IoT.

9.1.3 Medida del resultado

Frecuencia en la cual la serie de menciones relacionadas con la tecnología IoT en la agroindustria y su correspondiente año de publicación. Este indicador permite no solo hacer la correspondiente evaluación de los intereses, sino el entorno respecto al uso que se le está dando, en donde se enfatiza en como se desarrolla a lo largo del tiempo.

9.1.4 Aplicación

Conocer cada una de las investigaciones seleccionadas en primera fase y de cómo se referencian según las diferentes aplicaciones dentro de la tecnología IoT y como la agroindustria global, se centra de manera directa en los más comunes sistemas de utilización como el monitoreo climático, gestión de riego, control de plagas y automatización robótica con el análisis de datos pertinentes según sea el sector agrícola donde se aplique. Además, identificar las tendencias apartir del uso y la incorporación de dispositivos IoT en la región y proporcionar recomendaciones para la integración efectiva de esta tecnología en los procesos agrícolas y agroindustriales locales.

9.1.5 Criterios para la selección de fuentes

Los criterios previamente establecidos de inclusión y exclusión, lo que resultó en la identificación de un total de 139 estudios relevantes, bajo los siguientes pasos:

9.1.6 Identificación

El proceso de identificación también denominado evaluación de pertinencia combinó aspectos de la revisión de cada estudio para determinar su relevancia. Si tanto el título como su correspondiente resumen proporcionan una serie de información la cual es lo suficientemente específica para saber de los temas de interés, el estudio se procede a seleccionar para la posterior generación de un análisis más detallado.

Contexto temático: Los correspondientes estudios identificados deben abordar de manera exclusiva el uso de tecnologías IoT en donde la agroindustria y una serie de perspectivas puedan ir desde el carácter técnico, económico, productivo o de sostenibilidad.

Cobertura geográfica: Bajo el contexto planteado, se dio prioridad a la inclusión de investigaciones con enfoque regional en América Latina; no obstante, también se tuvieron en cuenta estudios a nivel global que pudieran brindar conocimientos aplicables a la agroindustria de Boyacá.

9.1.7 Proceso de eliminación

Aquellos estudios que carecieron de la información y filtros necesarios, fueron un claro indicador que el estudio no está relacionado con el tema en cuestión, se procede a revisar bajo una serie de filtros establecidos como el periodo, enfoque o año de publicación entendiendo el hecho de que la tecnología en inteligencia artificial e IOT avanzan a grandes pasos que en ocasiones no se miden por años sino por meses y aquellos estudios con la no correspondencia de filtros y enfoque fueron descartados.

- **Año de publicación:** Únicamente se tuvieron en cuenta investigaciones publicadas entre 2017 y 2024, dado el progresivo desarrollo de las tecnologías IoT y la importancia de mantener un rango de tiempo que vaya aliñado a la temática planteada.
- **Enfoque del tema:** Se descartaron los estudios que no trataban directamente la relación entre IoT y la agroindustria, o que hacían uso e incorporación de dispositivos tecnológicos, pero con enfoques en otras áreas como lo pueden ser el sector energético o la manufactura.
- **Importancia del contenido:** Se excluyeron y dejaron afuera los estudios que no presentaban análisis concretos sobre aplicaciones prácticas, a nivel del impacto en la productividad o sostenibilidad, que presentaban.

9.1.8 Proceso de selección

Se examinó el propósito y objetivos establecidos de cada estudio. Si este proporcionaba suficiente información sobre la relevancia del estudio se seleccionaba y se conservaba para su análisis posterior. De lo contrario hace parte del proceso de eliminación.

9.1.9 Estudios seleccionados

Se examinaron las conclusiones del artículo. Si estas ofrecían información suficiente para determinar la relevancia del estudio, se seleccionaba y se conservaba.

- Identificaran tecnologías relacionadas con una serie de dispositivos tales como: sensores, drones, cámaras y herramientas de gestión inteligente.

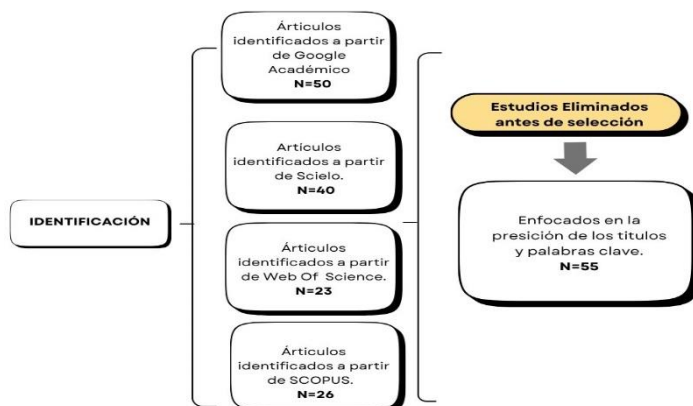
En una fase final, se identificaron 30 estudios primarios que cumplían con los criterios establecidos y que respondían a las preguntas planteadas y filtros detallados en los criterios anteriores.

Los criterios para seleccionar cada una de las fuentes de información se ejemplifican en el siguiente gráfico:

9.1.9.1 Diagrama de flujo PRISMA para la selección de artículo.

FIGURA 4

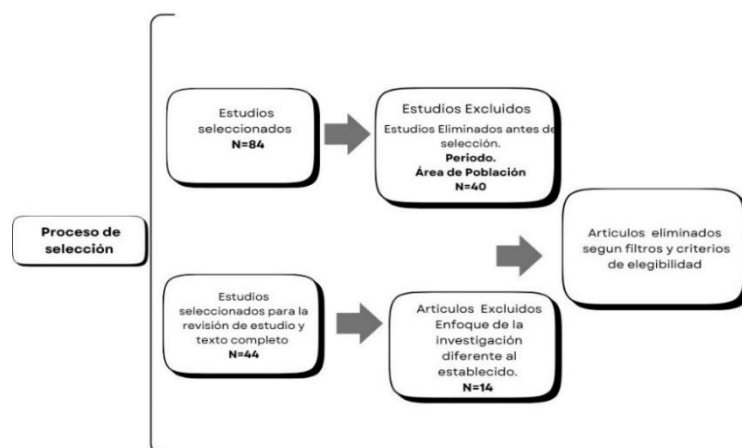
Flujo prisma proceso de identificación



Nota: Fuente elaboración propia

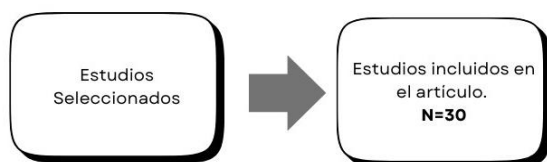
FIGURA 5

Proceso de selección



Nota. Fuente elaboración propia

Estudios seleccionados



Nota. Fuente elaboración propia

9.1.9.2 Distribución final de los artículos

Tabla 2

Distribución de artículos

BASE DE DATOS	ESTUDIOS IDENTIFICADOS	ESTUDIOS SELECCIONADOS
SCOPUS	26	8
WEB OF SCIENCE	23	4
SCIELO	40	6
GOOGLE ACADÉMICO	50	12
TOTAL	139	30

9.1.9 Análisis de co-ocurrencias

Para la realización del análisis de co-ocurrencias se llevó a cabo utilizando el software especializado VOSviewer, estableciendo una serie de filtros de especificación por palabras clave y co-ocurrencia, en los que se destacaron las siguientes palabras: internet de las cosas, agricultura,

9.2 Segunda fase: Principales aplicaciones de IoT

Luego de una revisión sistemática de artículos seleccionados sobre el uso de Internet de las cosas (IoT) en la agroindustria, se extrajeron los puntos más relevantes. Este proceso se centró en identificar cómo diferentes estudios se centran en cada una de las temáticas previstas en productividad y en sostenibilidad, y en evaluar el impacto potencial de las funciones de IoT en la agroindustria en Boyacá. Para realizar este análisis, se deben tener en cuenta aspectos como:

9.2.1 Selección de principales aplicaciones de IOT en la agroindustria

Con el objetivo de delimitar los trabajos científicos más alineados con la intención del presente proyecto investigativo, para la identificación concreta de las principales aplicaciones abordadas en los 30 estudios seleccionados, se utiliza la ayuda del programa de cálculo de Microsoft Excel, se ejerce el proceso de selección de los conceptos con mayor número de menciones en cada artículo. Aquellos con los principales porcentajes son seleccionados, lo que nos permite tener una aplicabilidad clara para su posterior identificación en estudios científicos de cómo han sido trabajados exclusivamente en la agroindustria de Boyacá. De igual manera se analizaron las principales empresas dedicadas a la creación de dispositivos inteligentes para el Agro colombiano y como dichos dispositivos han sido trabajados en el sector.

9.3 Tercera fase: Análisis de estudios y empresas enfocadas en el departamento de Boyacá y Entrevista con expertos de IoT.

Con cada una de las aplicaciones establecidas de la fase dos metodológica, se seleccionan aquellos artículos y empresas que priorizan exclusivamente en el trabajo de IoT en la agroindustria

del departamento de Boyacá, con base a los términos delimitados de productividad y sostenibilidad, efectuando un análisis de lo que cada uno de los autores por medio de la aplicabilidad de dispositivos inteligentes y su uso en la agroindustria en el departamento.

Finalmente, se realizaron dos entrevistas con expertos de las dos temáticas comenzando con profesional en el tema agroindustrial y la segunda con el profesional en el internet de las cosas y tecnología 4.0 aplicada en el campo boyacense.

9.3.1.1 Metodología de la entrevista

La entrevista se realizó de manera semiestructurada utilizando guías de preguntas previamente elaboradas con el objetivo de cubrir los siguientes aspectos:

- Impacto de la IoT en la productividad agrícola en Boyacá.
- Ejemplos de éxitos y fracasos en la implementación de IoT en la región.
- IOT en la productividad y sostenibilidad de la agroindustria del departamento de Boyacá.

9.3.1.2 Análisis de la entrevista

Se realizó un análisis cualitativo de cada una de las respuestas obtenidas para identificar temas recurrentes y recomendaciones clave para entender a nivel de productividad y sostenibilidad en el denominado Internet de las cosas para el sector agrícola. Este análisis complementa la información obtenida de la revisión sistemática y proporciona una descripción completa que combina en primera instancia la experiencia aplicada de la temática del presente proyecto investigativo.

10. Cronograma

EL presente proyecto investigativo se ha dividido en 3 fases para el aseguramiento de los resultados esperados. La fase 1 de revisión sistemática en programas y bases de datos especializadas en artículos científicos la cual comenzó en el mes de febrero del presente año 2024, durante la cual se desarrollaron revisiones que se acoplaran con los temas en cuestión de tecnología y agroindustria.

- Duración: febrero 2024-abril 2024

La fase II de las principales aplicaciones de IoT en la agroindustria se realizó una vez culminada la fase I, en donde ya se contaba con una idea más clara en cuestión de los objetivos del proyecto y como las principales aplicaciones podían ejemplificarnos de mejor manera la utilidad en términos de productividad y sostenibilidad que tienen la incorporación de este tipo de dispositivos.

- Duración: abril 2024- junio2024

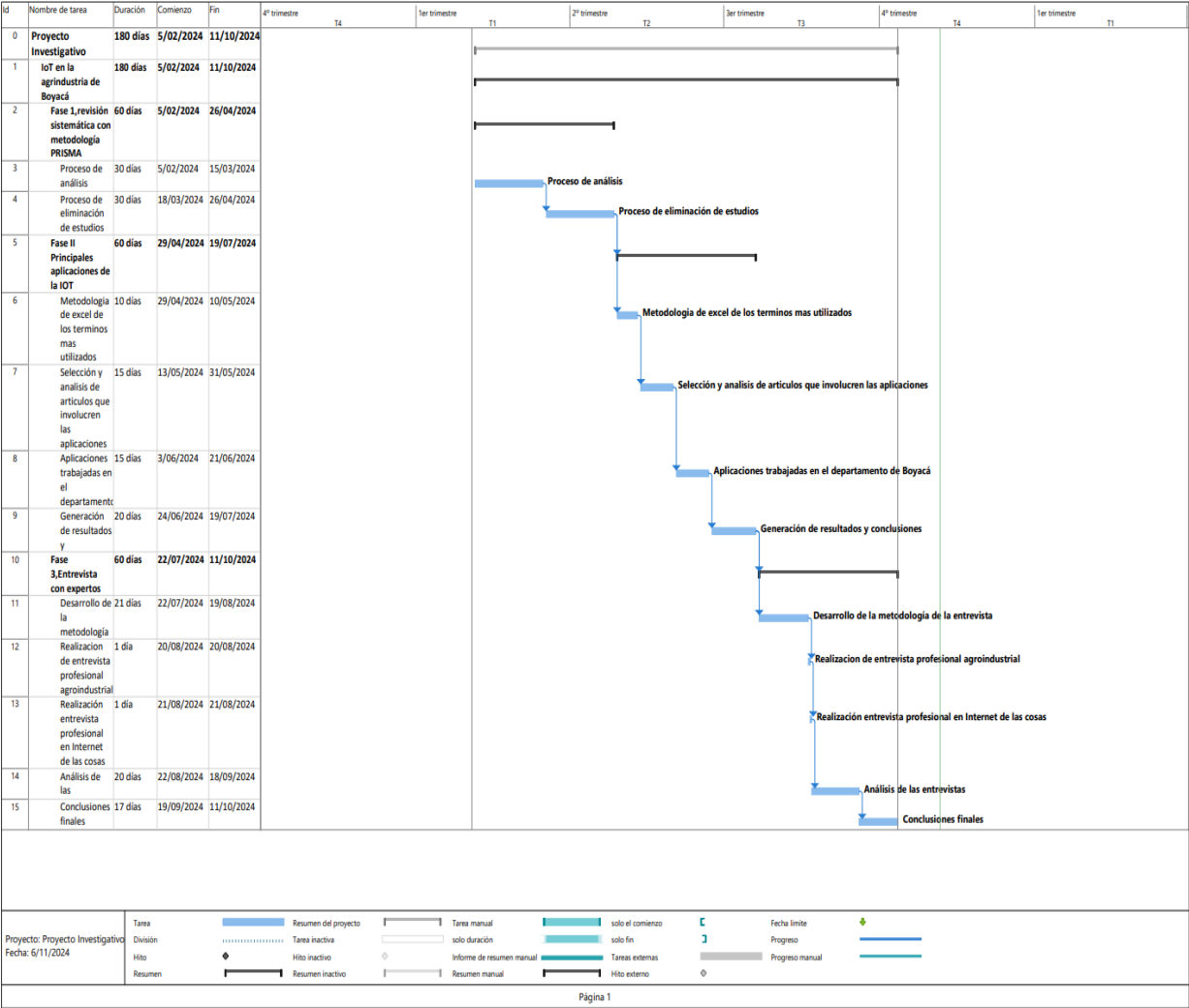
Finalmente, la fase III la cual conto con dos entrevistas a expertos y profesionales del sector Agroindustrial y del sector Tecnológico en Internet de las cosas en el departamento de Boyacá en donde se tuvieron en cuenta actividades de:

- ❖ Planificación y coordinación de entrevistas
- ❖ Realización de entrevista
- ❖ Análisis de respuesta y validación.

- Duración: junio 2024-agosto 2024

Para garantizar el seguimiento detallado se utilizó el programa especializado en gestión y control de proyectos Microsoft Project, para el desarrollo de un diagrama Gantt con la especificación de cada una de la tareas y fases desarrolladas en el presente proyecto.

FIGURA 7
Cronograma del proyecto (Microsoft Project)



Nota. Fuente elaboración propia. Microsoft Project (2024)

11. Resultados

Para la fase I de revisión sistemática, entre los 30 estudios seleccionados se dividieron cada uno de ellos según el programa de búsqueda especializada en trabajos y artículos investigativos, utilizados para dar alcance a los propósitos del presente proyecto, a este aspecto se suma la delimitación según el país de publicación de los artículos de selección final. Los resultados de estos apartados se ven evidenciados en las siguientes tablas:

Tabla 4

Estudios seleccionados por programa de búsqueda.

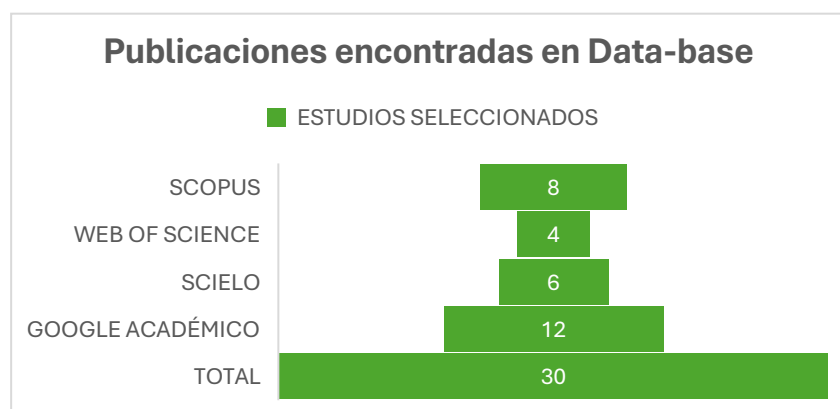
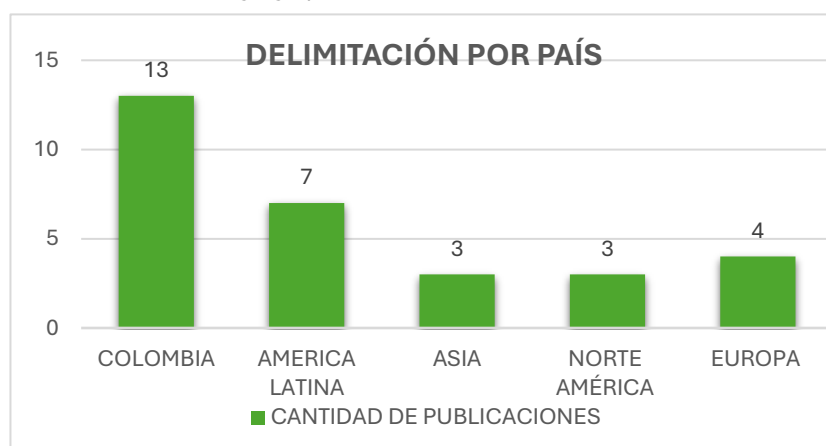


Tabla 5

Delimitación Por zona geográfica



Con base a la tabla 4 de estudios seleccionados según los programas especializados en búsqueda científica, Google académico fue el más utilizado con un total de 12 estudios, en donde se destacan aquellos de carácter nacional, por su parte en relación con el menos utilizado fue web of science este siendo utilizado para aquellos apartados trabajados internacionalmente. La tabla número 5 nos delimita que, del total de los 30 artículos, Colombia fue el país en que se hizo principal foco con 13 artículos y América latina con 7 artículos, dicho resultados van de la mano con el propósito y alcance del presente proyecto ya que busca delimitar principalmente desde un panorama local.

Entre los 30 estudios seleccionados se identificaron una serie de características que dan respuesta a la primera parte de la metodología propuesta, estas características se agruparon según los conceptos principales Dentro de la temática de IOT y su aplicación en la agroindustria.

Tabla 6

Características identificadas parte metodológica

No	Grupos	Características
1	Datos Obtenidos	Temperatura, humedad del aire, niveles de agua, luz, sensores ambientales, Calidad del aire, Humedad del suelo, volumen de agua utilizado, Monitoreo de plagas, Desempeño de máquinas, análisis de productividad, tiempos de maduración, estado nutricional de los cultivos.
2	Utilidad productiva	Predicción de cosechas, mejora de la producción, monitoreo remoto, optimización, Prevención de pérdidas de cultivos, reducción de errores humanos y mayor capacidad de producción decisiones basadas en datos.
3	Tendencias en tecnología	Trazabilidad, conectividad, big data, blockchain, AI inteligencia artificial, IoT en monitoreo ambiental Y big data climático.

4	Sostenibilidad	Reducción de consumo de agua, menor impacto ambiental, agricultura de precisión, Conservación de agua y control biológico de plagas, agricultura de bajo impacto, reducción de insumos químicos.
5	Problemáticas	Cambios climáticos extremos, costos de implementación, desconectividad en áreas rurales, Resistencia de plagas a pesticidas, resistencia a la adopción de nuevas tecnologías, accesibilidad limitada a pequeños agricultores.

Nota. Esta tabla muestra como las características encontradas en los 30 artículos fueron divididas en 5 grupos

Los resultados para la Fase II se ven especificados, por medio de la ayuda electrónica del programa de Microsoft Excel, por cada artículo de la selección final se anotó el orden, año y título del artículo. Cuando corresponde que el artículo cumple se escribe como 1 por cada una de las características que cumpla, cada una de las características están ubicadas en una columna. Cada grupo tiene una sumatoria de características luego se halla el porcentaje referente a cada una de las características ya estipuladas.

Calculo: Suma de la característica/sumatoria del grupo - Ejemplo: Ítem,” Datos obtenidos”

Para la cual se obtuvo 101 de sumatoria total y para la característica individual de humedad de suelo una sumatoria de 3 menciones en el total de los 30 artículos seleccionados.

$$\frac{3}{101} = 3\%$$

11.1 Tablas de metodología Excel usada en identificación de principales aplicaciones de IoT en la agroindustria

Los resultados se ven expuestos en las siguientes tablas:

Tabla 7 Datos obtenidos metodología en Excel

DATOS OBTENIDOS	Temperatura	Humedad de aire	Humedad de suelo	Cultivos	Análisis de Productividad	Maduración de cultivo	Monitoreo de plagas	Dispositivos inteligentes	Irrigación
SUMATORIA	10	8	3	5	28	3	12	30	2
PORCENTAJE %	10%	8%	3%	5%	28%	3%	12%	30%	2%

La tabla numero 7 nos expone los resultados de los hallazgos para el apartado de datos obtenidos siendo dispositivos inteligentes con 30%, análisis de productividad 28% y monitoreo de plagas con 12 %, los más mencionados en los 30 artículos seleccionados, dichos porcentajes mencionados son el resultado del cociente entre la sumatoria total de cada una de las 9 características encontradas sobre la sumatoria individual de cada característica, lo que ejemplifica por medio del dato porcentual que temáticas son las más mencionadas en la investigación.

Tabla 8 Utilidad productiva metodología en Excel

UTILIDAD PRODUCTIVA	Predicción de cosecha	Mejoras productivas	Monitoreo remoto	Optimización	Prevención perdida de cultivos	Reducción de errores Humanos	Energía	Nutrientes
SUMATORIA	12	28	12	30	9	10	2	3
porcentaje %	9%	22%	9%	23%	7%	8%	2%	2%

La tabla numero 8 nos expone los resultados de los hallazgos para el apartado de utilidad productiva siendo optimización con 23%, mejoras productivas 22% los más mencionados en los 30 artículos seleccionados, dichos porcentajes mencionados son el resultado del cociente entre la

sumatoria total de cada una de las 8 características encontradas sobre la sumatoria individual de cada característica, lo que ejemplifica por medio del dato porcentual que temáticas son las más mencionadas en la investigación.

Tabla 9 Tendencias en tecnología metodología en Excel

TENDENCIAS EN TECNOLOGÍA	Trazabilidad	conectividad	Big data	block chain	AI inteligencia artificial
SUMATORIA	8	18	6	5	14
PORCENTAJE %	16%	35%	12%	10%	27%

La tabla numero 9 nos expone los resultados de los hallazgos para el apartado de tendencias en tecnología siendo conectividad con 35%, AI inteligencia artificial con 27% los más mencionados en los 30 artículos seleccionados, dichos porcentajes mencionados son el resultado del cociente entre la sumatoria total de cada una de las 5 características encontradas sobre la sumatoria individual de cada característica, lo que ejemplifica por medio del dato porcentual que temáticas son las más mencionadas en la investigación.

Tabla 10 Sostenibilidad metodología Excel

SOSTENIBILIDAD	Monitoreo ambiental	Menor impacto al ambiente	Agricultura de precisión	Conservación de agua	Control Biológico	Cambios climáticos
SUMATORIA	10	10	19	13	9	11
PORCENTAJE %	14%	14%	26%	18%	13%	15%

La tabla numero 10 nos expone los resultados de los hallazgos para el apartado de sostenibilidad siendo la agricultura de precisión con 26%, conservación de agua 18% los más mencionados en los 30 artículos seleccionados, dichos porcentajes mencionados son el resultado del cociente entre la sumatoria total de cada una de las 6 características encontradas sobre la sumatoria individual de cada característica, lo que ejemplifica por medio del dato porcentual que temáticas son las más mencionadas en la investigación.

Tabla 11 **Problemáticas con metodología en Excel**

PROBLEMÁTICAS	Costos de implementación	Desinformación	Accesibilidad limitada	Ciberseguridad
SUMATORIA	6	11	15	4
PORCENTAJE %	15%	27%	37%	10%

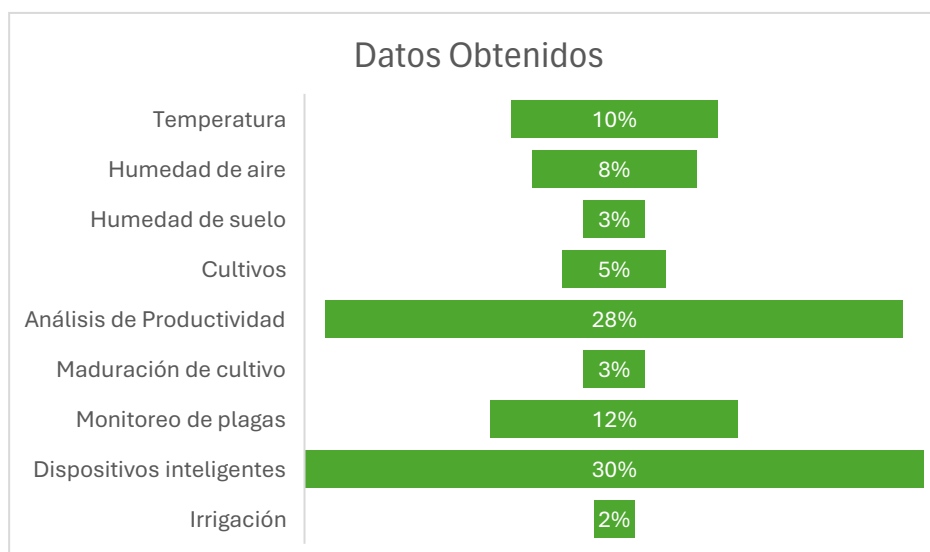
La tabla numero 11 nos expone los resultados de los hallazgos para el apartado de problemáticas siendo la accesibilidad limitada con 37%, desinformación con 27% y costos de implementación con 15%, los más mencionados en los 30 artículos seleccionados, dichos porcentajes mencionados son el resultado del cociente entre la sumatoria total de cada una de las 4 características encontradas sobre la sumatoria individual de cada característica, lo que ejemplifica por medio del dato porcentual que temáticas son las más mencionadas en la investigación.

11.1.1 Datos obtenidos proceso de resultados en Excel

La tabla 12 presenta las características encontradas para el apartado de datos obtenidos en donde se destacan las siguientes: Temperatura 10%, Humedad del aire 8%, humedad del suelo 3%, cultivos 5%, análisis de productividad 28%, maduración del cultivo 3%, monitoreo de plagas 12%, dispositivos inteligentes 30 %, irrigación con el 2 %. Esto significa que entre los 30 artículos, el aspecto de dispositivos inteligentes ocupa el mayor porcentaje con mención en cada uno de los 30 artículos seleccionados, el aspecto de análisis de productividad tiene mucha importancia en 28 artículos en los cuales se hace mención.

Tabla 12

Datos obtenidos

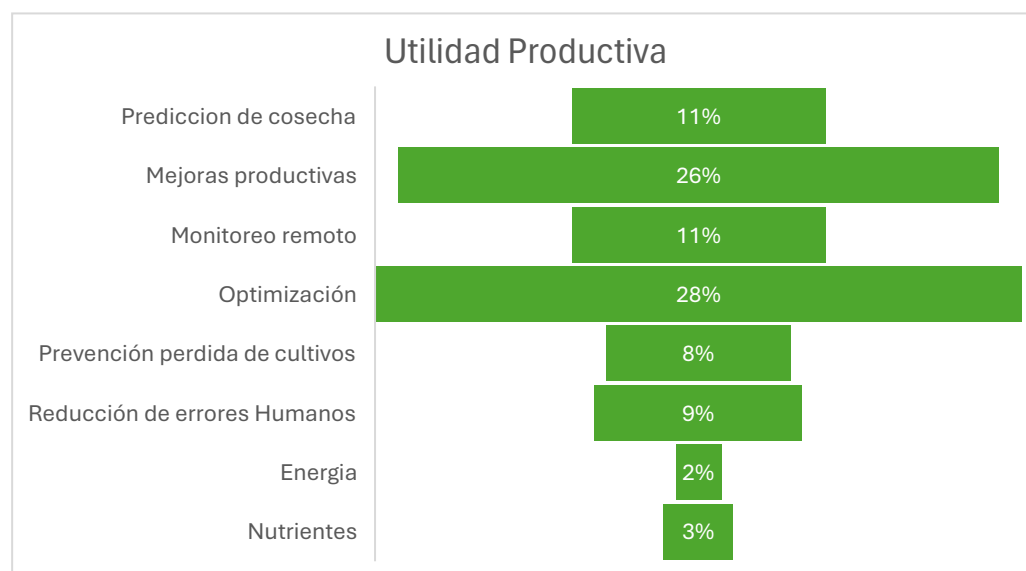


Nota. Características de datos obtenidos en proceso de resultados en Excel

La tabla 13 presenta las características encontradas para el apartado de utilidad productiva obtenida en donde se destaca los siguientes: Optimización 28%, mejoras productivas 26%, predicción de cosechas 11%, monitoreo remoto 11%, reducción de errores humanos 9%, energía 2 %, nutrientes 3%. Esto significa que entre los 30 artículos, el factor de optimización es la utilidad productiva más importante con 28% ya que es mencionada en los 30 artículos, también se destaca el factor de mejoras productivas (26%) con mención en 28 artículos y producción de cosechas con 11% y mención en 12 artículos.

Tabla 13

Utilidad Productiva

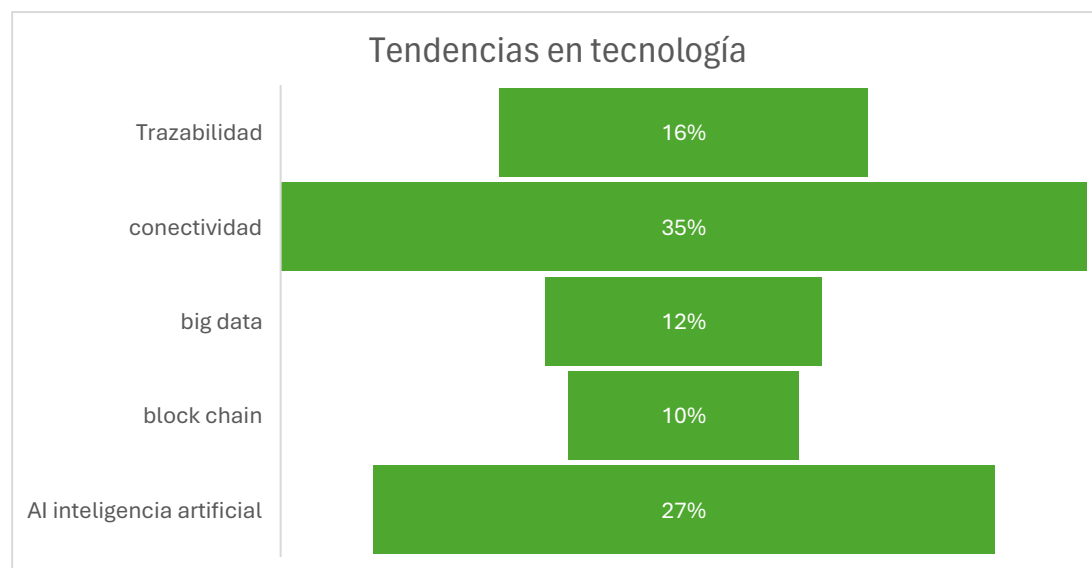


Nota. Características obtenidas en utilidad productiva en proceso de resultados en Excel

La tabla 14 presenta las características encontradas para el apartado de tendencias tecnológicas obtenidas en donde se destaca los siguientes: Conectividad 35%, AI inteligencia artificial 27%, trazabilidad 16%, big data 12% y Block Chain 10% .Esto significa que entre los 30 artículos, el factor de conectividad 35% es el factor en relación a la temática de tendencias tecnológicas con un total de mención de 18 artículos le sigue AI inteligencia artificial 27% con mención en 14 artículos y trazabilidad con mención en 8 artículos del total de 30 seleccionados.

Tabla 14

Tendencias en tecnología



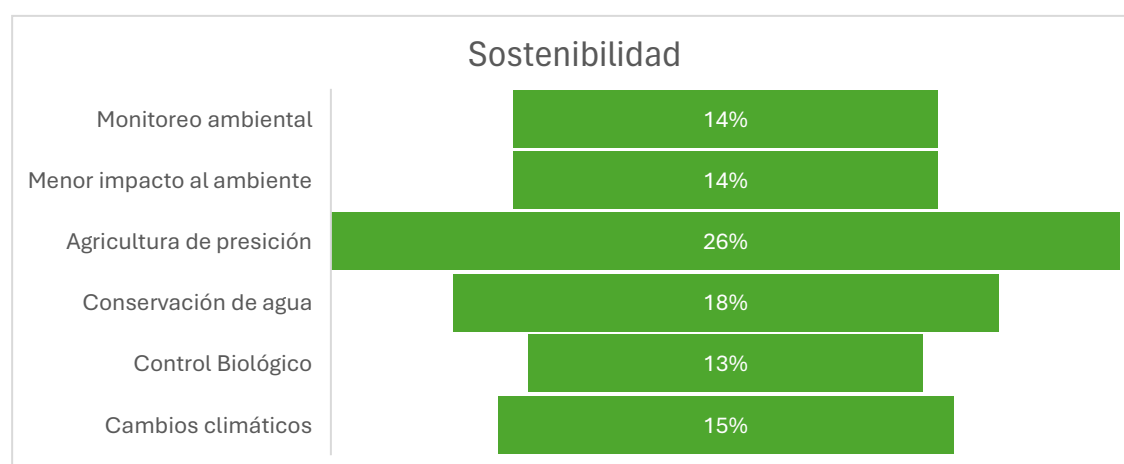
Anexo. Características obtenidas en tendencias en tecnología en proceso de resultados en Excel

La tabla 15 presenta las características encontradas para el apartado de sostenibilidad obtenidas en donde se destaca los siguientes: Agricultura de precisión 26%, conservación de agua

18%,cambios climáticos 15%.Esto significa que entre los 30 artículos, la característica de agricultura de precisión es el factor en relación a la temática de tendencias tecnológicas con un total de mención en 19 artículos le sigue la conservación de agua con mención en 13 artículos y cambios climáticos con mención en 11 artículos .

Tabla 15

Sostenibilidad

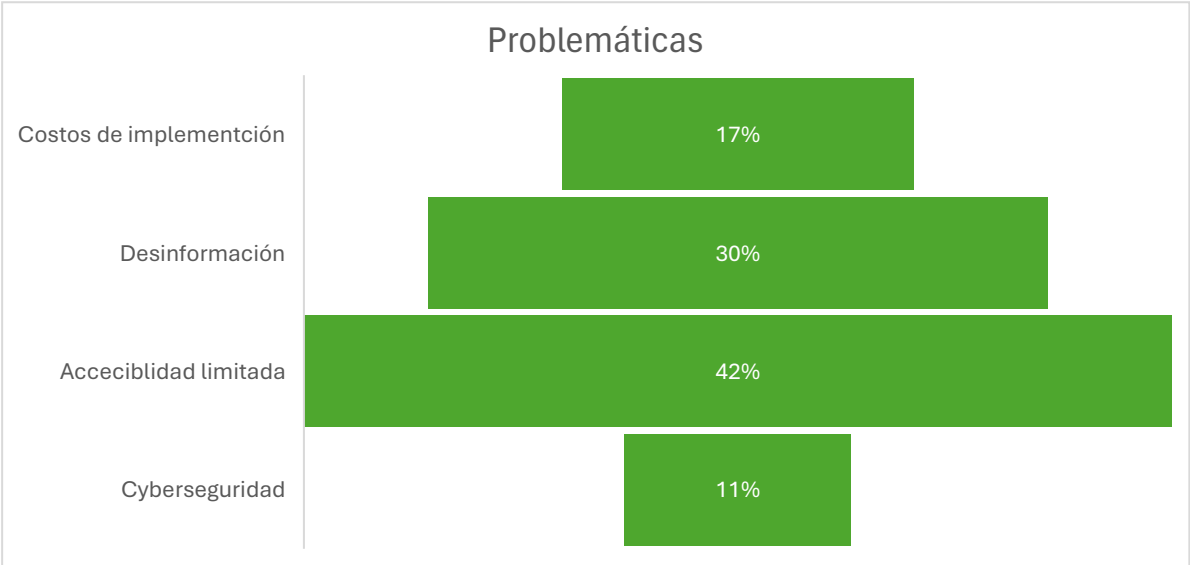


Nota. Características obtenidas en sostenibilidad en proceso de resultados en Excel

La tabla 16 presenta las características encontradas para el apartado de problemáticas obtenidas en donde se destaca los siguientes: Accesibilidad limitada 42%, desinformación 30%, costos de implementación 17% y cyber-seguridad 11%. Esto significa que, entre los 30 artículos, la característica de accesibilidad limitada y desinformación son las características con más menciones en los 30 artículos finales seleccionados con un total de 15 y 11 artículos respectivamente.

Tabla 16

Problemáticas



Nota. Características obtenidas en problemáticas en proceso de resultados en Excel

Con base al gráfico de resultados en términos de delimitación de características claves de cada uno de los puntos principales en datos obtenidos ,utilidad productividad ,sostenibilidad, tendencias tecnológicas y problemáticas, se evidenciaron las 5 aplicabilidades en donde la IOT mayor incidencia en términos de productividad y sostenibilidad generan para el caso particular de los artículos seleccionados, dichas aplicaciones van desde el monitoreo de condiciones ambientales hasta el análisis de datos y predicción en cultivos, las especificaciones se detallan en la siguiente tabla:

11.2 Aplicaciones de IoT Utilizadas en Estudios de la Agroindustria panorama nacional e internacional

Tabla 17

Aplicaciones de IoT Utilizadas

APLICACIONES
Monitoreo de clima y condiciones ambientales
Gestión inteligente de riego
Control de plagas y enfermedades
Automatización y robótica en agricultura
Análisis de datos y predicción de cultivos

Nota. Listado de aplicaciones más utilizadas en estudios analizados

Los resultados de la búsqueda y clasificación de publicaciones relacionadas con el uso de dispositivos inteligentes con las 5 principales aplicaciones delimitadas en la tabla anterior revelan la existencia de numerosas publicaciones, particularmente con resultados encontrados en la base de datos de Google Scholar, como se muestra en la tabla 4. En donde se generó la delimitación de artículos científicos en el panorama local o nacional, Sin embargo, una vez identificado cada uno de los artículos pertinentes, la relación con el tema de consulta es limitado. Este resultado es

bastante llamativo considerando las amplias ventajas técnicas, económicas, productivas y sostenibles que ofrece el uso de soluciones cada uno de los dispositivos inteligentes IoT.

11.3 Estudios seleccionados Agroindustria en el departamento de Boyacá Colombia

Los resultados de la fase dos en relación con los estudios científicos trabajados en la agroindustria de Boyacá, Una vez especificadas las 5 aplicaciones de la tecnología IoT en la agroindustria se obtuvieron los siguientes resultados:

11.3.1 Sistemas de Monitoreo Climático y de Suelo

El texto de Daniel Ramírez (Ramírez, 2020) señala un sistema de vigilancia a distancia para cultivos en áreas de acceso complicado, lo que incrementa la eficiencia al disminuir los gastos de personal y transporte. Se alcanza la sostenibilidad al sugerir la utilización de energías renovables, como los paneles solares, y al reducir el impacto ecológico en zonas protegidas. Esto contribuye a preservar la productividad al asegurar un seguimiento constante y eficaz del cultivo, particularmente en áreas rurales aisladas.

11.3.1.1 Potencial e impacto en Productividad.

En la investigación científica de (Velazco, D. S. 2020), el seguimiento a distancia posibilita disminuir los gastos operativos al reducir la movilidad de los empleados y potenciar el control sobre el cultivo de papa. Esto potencia la eficiencia en las operaciones y la productividad del cultivo, particularmente en zonas de acceso complicado. La investigación científica expone un prototipo aplicado de IoT para la supervisión de la calidad del aire, e involucra su relación con los

usos potenciales en la industria en un panorama general y específico en el sector agroalimentario. Entendiendo el cómo la calidad del aire influye directamente en los procesos que se realizan. Adicionalmente, la habilidad para llevar un seguimiento en tiempo real promueve un óptimo manejo de recursos, disminuyendo los tiempos de respuesta y los gastos operacionales. Una vez implementados estos sistemas no solo mejora la capacidad de la agroindustria para tomar decisiones informadas, sino que se generan ajustes a las condiciones ambientales en donde se maximiza el rendimiento de los cultivos. Además, la capacidad de monitorear en tiempo real le brinda al agricultor una optimización de recursos, reduciendo tiempos de respuesta y costos operativos.

11.3.1.2 Potencial e impacto en Sostenibilidad.

En términos de sostenibilidad (Ramírez 2020) expone en la parte metodológica, la implementación de energía solar para alimentar los equipos de monitoreo en donde contribuye de manera importante hacia la sustentabilidad, debido a que genera procesos en donde se limite la cantidad de dependencia de combustibles fósiles y se minimiza el impacto ambiental, Por otro lado, (Hernández R. E., 2020) el sistema de vigilancia se enfoca en disminuir la polución atmosférica a través de la supervisión de gases perjudiciales y partículas. La sostenibilidad se fomenta proporcionando un sistema económico y de fácil acceso, lo que posibilita su aplicación en varias industrias, incluyendo las pequeñas agroindustrias. Al disminuir la exposición a contaminantes perjudiciales, las prácticas de agricultura pueden ajustarse para ser más amigables

con el entorno natural. Además, este sistema de vigilancia facilita la observancia de normativas medioambientales, lo cual favorece la sostenibilidad a largo plazo.

11.3.2 Gestión Inteligente de Riego

Principalmente, el avance regional del departamento se basa en la agricultura. Por lo tanto, es crucial fomentar la invención de instrumentos innovadores, como los sistemas de riego automatizados, para asegurar un uso eficaz del agua.

11.3.2.1 Potencial e impacto en Productividad.

(Llanos, L. E. 2016), Menciona que el uso de sensores para monitorear las condiciones del suelo y el clima permite optimizar el riego, mejorando la producción agrícola. Lo que genera una reducción del desperdicio y una máxima en él se refiere a la técnica de diseño modular que posibilita la optimización de las instalaciones productivas al promover su escalabilidad y adaptabilidad. Esto implica que las plantas tienen la capacidad de ajustarse con rapidez a las variaciones en la demanda y funcionar con mayor eficacia. El modularidad también posibilita la incorporación de nuevos módulos productivos sin interrumpir los ya existentes, lo que disminuye el tiempo de parada y potencia la productividad. Los ejemplos numéricos de esta metodología indican que el tiempo de instalación y adaptación de módulos puede disminuir entre un 30-50%, lo que favorece la eficiencia global de las operaciones.

(Castellanos, 2021) utiliza agua de forma exacta según las demandas reales del cultivo, lo que genera un proceso en donde se amplie la utilización de recursos de agua y disminuye el

desembolso en materiales. El sistema emplea sensores para supervisar las condiciones del terreno y modificar de forma automática el sistema de riego. Esto potencia la eficiencia en la agricultura al garantizar que las plantas obtengan el volumen correcto de agua en el instante exacto, lo que puede elevar los rendimientos en cultivos como la patata, de un 20-30% en pruebas controladas.

(J. A. León, 2019). En su investigación sobre supervisión de calidad de caudales, menciona la supervisión de manera inmediata de cada uno de los parámetros de calidad del agua como el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto. Esto disminuye la necesidad de muestreos manuales y facilita una respuesta rápida ante problemas de contaminación. Esto resulta crucial para la productividad en sectores que requieren de fuentes de agua, como el agrícola y el acuícola, dado que tienen la capacidad de hacer modificaciones en sus procedimientos basándose en información vigente y prevenir pérdidas debido a problemas de calidad del agua.

11.3.2.2 Potencial e impacto en Sostenibilidad

(Castellanos, 2021). Expone por medio de la tecnología IoT enfocada en el riego la contribución a un uso equilibrado del agua junto con una disminución progresiva, siendo un recurso vital en numerosas áreas agrícolas. El sistema inteligente de riego expuesto por Castellanos tiene la capacidad de generar una disminución que puede llegar a ser hasta 40% el uso de agua, lo que genera múltiples beneficios como el prevenir el derroche y protegiendo los recursos naturales. Otra consecuencia importante se considera en el proceso donde se genera una serie de disminuciones notables en la erosión del suelo, lo cual conduce a una agricultura más sustentable

y la cual prioriza en los procesos que involucran algún tipo de explotación del medio ambiente. (León, J. A., 2019) por su parte menciona que una gestión inteligente de riego es aquella que implica un seguimiento continuo y la identificación en primera instancia en donde se están generando las diferentes series de alteraciones en la calidad del agua, contribuyendo no solo en la reducción de perjuicios a los ecosistemas acuáticos sino a mantener con vida la biodiversidad del entorno donde se ejecute el sistema. Finalmente permite un acercamiento frente a como las compañías tomen decisiones claras y fundamentadas para reducir niveles de polución a nivel ambiental y reducción de productos químicos que se usen en el agua, promoviendo un equilibrio natural dentro de todo el ecosistema.

11.3.3 Sistemas de Control de Plagas y Enfermedades

Estos sistemas emplean IoT para supervisar y regular la salud de los cultivos, identificando precozmente indicios de enfermedades o plagas invasivas. Su puesta en marcha en Boyacá se ha ajustado para tratar las plagas y enfermedades más habituales en la zona, proporcionando soluciones concretas que contribuyen a preservar la salud de las cosechas y disminuir las pérdidas.

11.3.3 .1 Potencial e impacto en Productividad.

El informe (Motta,2024) resalta que el control eficaz de las enfermedades del ganado a través de sistemas de seguimiento incrementa la productividad al asegurar la salud de los animales y perfeccionar los ciclos productivos, tales como la reproducción y la vacunación.

(Nayagam & Vijayalakshmia, 2023) presentan un sistema de IoT orientado a la supervisión y seguimiento de productos de la agricultura, en particular para los cultivos de cacao. El sistema posibilita un manejo más eficaz de la logística y protección de los cultivos, mediante el uso de sensores y redes de comunicación de larga distancia como LoRa y GPRS. Esto maximiza el tiempo y el esfuerzo destinados a supervisar extensas áreas de cultivos, incrementando notablemente la productividad en la agricultura, el sistema propuesto mejora las medidas de rendimiento en un 98,65 %.

11.3.3 .2 Potencial e impacto en Sostenibilidad.

El informe (Motta,2024) resalta que el control eficaz de las enfermedades del ganado por medio de datos y sistemas de seguimiento incrementa la productividad al asegurar la salud de los animales y perfeccionar los ciclos productivos, tales como la reproducción y la vacunación.

(Nayagam & Vijayalakshmia, 2023) presentan un sistema de IoT orientado a la supervisión y seguimiento de productos de la agricultura, en particular para los cultivos de cacao. El sistema posibilita un manejo más eficaz de la logística y protección de los cultivos, mediante el uso de sensores y redes de comunicación de larga distancia como LoRa y GPRS. Esto maximiza el tiempo y el esfuerzo destinados a supervisar extensas áreas de cultivos, incrementando notablemente la productividad en la agricultura. De igual manera, el control detallado en tiempo real para el proceso en donde se haga la siembra de cultivos facilita un uso eficiente.

El camino hacia un proceso de evolución segura y sustentable para el agro facilita que los procesos productivos sean más respetuosos con el entorno, lo que desencadena una serie de factores favorables dentro de los procesos de siembra de las cosechas y la posterior conservación de los recursos. Esto es de vital importancia en cada una de las zonas agrícolas que se encuentran con desafíos de carácter climático y donde el priorizar en una sostenibilidad a largo plazo es el factor principal para preservar la viabilidad de los procesos de producción.

11.3.4 Sistemas de Automatización y Robótica en Agricultura

Estos sistemas, surgidos de la necesidad de incrementar la eficiencia y disminuir la carga de trabajo en el campo, han sido cada vez más implementados en Boyacá. Estos sistemas incorporan tecnologías para la siembra automatizada, la recolección y la gestión de cultivos, que se ajustan a las particularidades de la agricultura local. Estos sistemas simbolizan una progresión en la mecanización agrícola hacia una precisión superior y una reducción en la necesidad de trabajo humano físico.

11.3.4.1 Potencial e impacto en Productividad.

El informe de (Ruge,2017), se indica que la automatización de procesos en la fabricación de paneles incrementa la productividad al disminuir el tiempo y la fuerza laboral requeridos para determinadas funciones. Esto habilita a las compañías para ser más competitivas y efectivas.

El prototipo de IoT expuesto en el informe tienen desencadenate en un efecto beneficioso en los procesos a nivel de productividad agrícola. El sistema genera de manera significativa ya que

cada uno de los agricultores tienen la posibilidad de supervisar y regular sus cultivos desde la comodidad de sus hogares, lo que a su vez generan que haya la necesidad de acciones manuales y maximizando la capacidad de automatizar procesos como el riego y la recolección de datos en tiempo real facilita la toma de decisiones informadas y la mejora en la eficiencia operativa.

11.3.4.2 Potencial e impacto en Sostenibilidad.

En términos de sostenibilidad, el prototipo de (Ruge,2017), promueve un verdadero uso plasmado por la importancia de la eficiencia de los recursos naturales. La automatización de los sistemas de riego y la gestión precisa de elementos como la humedad y la temperatura reducen el derroche de agua y el uso excesivo de recursos de agricultura. Esto resulta crucial para la región de Boyacá, donde desde el punto de vista de conservación de los recursos es de gran importancia el mantener una constante viabilidad de la industria de la agricultura y la pesca, enfatizando en esta última dado que la sobreexplotación de agua puede alterar serie de hábitats acuáticos incluyendo poblaciones de peces silvestres.

11.3.5 Análisis de Datos y Modelos Predictivos para Cultivos

11.3.5.1 Potencial e impacto en Productividad.

El informe acerca de la industria del panel de (Ruge,2017), subraya que la aplicación de análisis de datos y modelos predictivos promueve la toma de decisiones basadas en datos, lo que posibilita prever problemas y maximizar los recursos, incrementando así la eficiencia y productividad de los cultivos.

La investigación de (Espinosa,2023) presenta un prototipo que supervisa y regula la irrigación y la temperatura en los cultivos como lo pueden llegar a ser los relacionados con la cebolla larga a través de las tecnologías de Internet de las Cosas. En cuanto a la productividad, este sistema posibilita la anticipación de sucesos basándose en la información recolectada por sensores, lo que contribuye a mejorar el riego y minimizar los residuos.

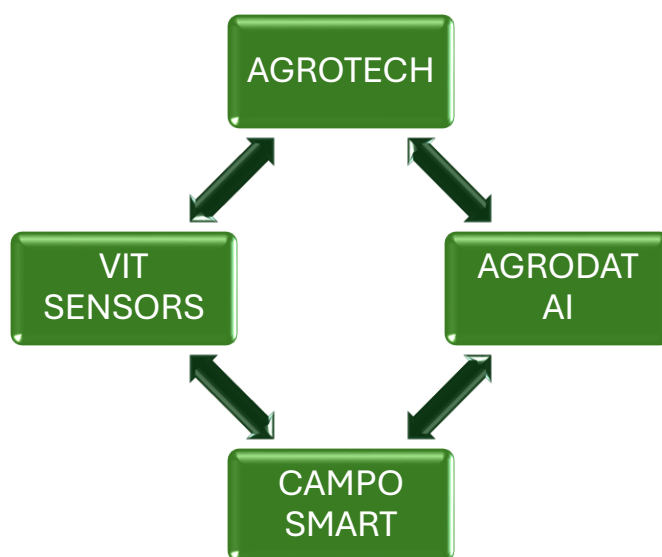
11.3.5.2 Potencial e impacto en Sostenibilidad

Estos sistemas promueven un mejor uso de recursos agrícolas, como el agua y los fertilizantes, lo que promueve la sostenibilidad al evitar el uso excesivo de recursos y reducir el impacto en el entorno ambiental. El sistema sugerido por (Espinosa,2023) fomenta la sostenibilidad al disminuir el uso de agua a través de una supervisión más exacta del riego. La anticipación de sucesos y la supervisión en tiempo real permiten reducir las intervenciones y optimizar los recursos. La implementación de un sistema IoT que anticipa las condiciones meteorológicas y del suelo también contribuye a prevenir la utilización excesiva de pesticidas y fertilizantes, lo que favorece prácticas de agricultura más amigables con el medio ambiente.

11.4 Beneficios expuestos en empresas de IoT con aplicación en Boyacá

FIGURA 8

Empresas de IoT con aplicación en Boyacá



Nota. Listado de 4 empresas de IoT con aplicación en la agroindustria de Boyacá. Fuente (Elaboración propia)

Beneficios que proponen empresas de Iot en la agroindustria de Boyacá en términos de productividad y sostenibilidad, 4 de las principales empresas de IoT con dispositivos inteligentes aplicados en la agroindustria del sector, lo cual generó los siguientes resultados:

- **Beneficios expuestos en (VIT Sensors)**

VIT Sensors hace uso de sensores autónomos, que recogen información del entorno y del suelo en periodos de diez minutos, lo que representa un progreso en la utilización de IoT para una agricultura más exacta. Empresa que ha aportado al agro colombiano por medio de

La incorporación de dispositivos que le permiten a los agricultores una oportuna adaptación a las tácticas de riego y fertilización por medio de información de analítica de datos en tiempo instantáneo, mejorando la utilización de recursos y disminuye el uso de agua, fomentando de esta manera uno de los principales pilares de sostenibilidad. Los sensores de VIT, funcionando de manera autónoma y con muy pocos periodos dedicados para el mantenimiento, lo que a su vez reduce costos de operacional funcionar de manera autónoma y con escasa necesidad de mantenimiento, menos costos de operación y mayor impacto en la eficiencia agrícola sostenible.

- **Beneficios expuestos en (CAMPOsmart)**

Ejemplo de cómo la digitalización de la administración agrícola puede incrementar la eficacia en las propiedades rurales. Los módulos de carácter específico, como "Educación", "Fincas", "Costos" y "Reportes", constituyen un sistema integral de IoT en donde el proceso de tomas de decisiones es basado en información precisa en términos de análisis geográficos y una serie de alertas que mejoran la utilización de cada uno de los recursos agrícolas, dichas utilidades son trabajadas en el agro de Boyacá, potenciando la eficiencia productiva y de igual manera fomentando la utilización eficaz de los recursos. CAMPO SMART hace uso de una serie de mapas inteligentes, que es la clara muestra de una organización exacta y una correcta administración en los terrenos agrícolas.

- **Beneficios expuestos en (Agrotech Agrotech)**

Subraya el valor de los sistemas de IoT en un mejor uso del agua y la automatización de tareas rurales. La tecnología de Agrotech posibilita una gestión adaptada de los recursos de agua a través del estudio de las demandas particulares de las cosechas, lo que mejora el riego y aporta directamente a la sostenibilidad. Además, al disminuir la necesidad de trabajadores y mejorar el tiempo de realización de labores agrícolas, la automatización de Agrotech no solo reduce los gastos, sino que también minimiza el efecto en el medio ambiente, lo que convierte el proceso agrícola en un sistema más respetuoso con el entorno. Enfocado en hacer del agro colombiano un lugar más productivo.

- **Beneficios expuestos en (Agrodat AI)**

La empresa busca la disponibilidad de información especializada y el uso de dispositivos inteligentes, en donde busca priorizarse un mejor modelo adaptado dentro de la cadena de suministro, lo que lleva a una mejora en la productividad y respecto al uso de recursos involucra a toda la cadena de valor. Este enfoque no solo busca la manera de impulsar la productividad en el sector agrícola, sino que también el hecho de promover prácticas sustentables al facilitar la utilización de materiales y recursos energéticos.

Fomentando las diferentes cadenas de abastecimiento, trata la eficacia y la competitividad en el sector agroindustrial al unificar la información de las cadenas de abastecimiento en directo. Esta incorporación de IoT posibilita que los productores y agricultores realicen elecciones fundamentadas en todas las fases de producción, venta y economía.

En resumen, estas compañías y empresas con aplicación en el departamento de Boyacá son una evidente muestra los múltiples beneficios y potencial que posee el IoT para revolucionar la agroindustria en Colombia.

Beneficios como el incremento de la eficiencia genera un proceso de automatización y perfeccionamiento de una serie de procedimientos, sino también el hecho de promover la sostenibilidad hasta el punto de disminuir el uso de recursos y reducir el efecto en el medio ambiente. Sin embargo, un reto significativo es la implementación de estas tecnologías entre los agricultores de pequeña escala, quienes podrían no tener acceso a una infraestructura apropiada o encontrarse con obstáculos económicos a primera vista. Otro beneficio, muestra como proyectos como los de VIT Sensors evidencian que se puede disminuir la brecha tecnológica y social en la industria, y que la agricultura en Colombia puede resultar tanto lucrativa como sustentable con el respaldo de soluciones IoT adecuadamente implementadas.

11.5 Fase tres de resultados

Los resultados en términos de la fase 3 de resultados se exponen por medio de las entrevistas realizadas a dos profesionales de la parte de agroindustria y de Internet de las cosas.

FIGURA 9

Perfil del entrevistado a nivel agroindustrial



ISRAEL MARTÍNEZ
PRODUCTOR Y EMPRESARIO AGRÍCOLA

 **“Por un mejor municipio”**

EXPERIENCIA

Profesional empirico con 33 años de experiencia en labores de campo dentro del departamento de Boyacá Colombia,destacado por sus labores hechas en el municipio de berbeo al ser el pricipal productor de fruta y derivados de leche del municipio.

BERBEO FRUIT AS

Productor a mercados mayoristas principalmente enfocado en produccion de frutas como naranja,mandarina,chamba y derivados de la leche

Colaboración en proyectos y participación en conferencias

Productores agrícolas de Berbeo, se capacitan para mejorar sus cultivos.
Conjunto con el ICA en realización de trabajos con los gremios y productores para el fortalecimiento del sector agropecuario en el municipio de BERBEO.

SOBRE MÍ

Productor Agrícola y empresario colombiano perteneciente al municipio de Berbeo Boyacá, con 33 años de experiencia en labores de campo y con su empresa de Berbeo fruit AS.Prioriza en la exportación de fruta a diferentes ciudades de Colombia.

HABILIDADES

- Planificación de producción
- Relaciones con clientes
- Normas de seguridad alimentaria.
- Certificaciones agrícolas
- Identificación de mercados
- Toma de decisiones bajo presión.

 Berbeo,



Nota. Perfil de entrevistado, Israel Martínez Fuente autoría propia. Canva (2024)

11.5.1 Análisis de la entrevista

Resalta la relevancia de la formación para que los agricultores tengan un mejor uso de las soluciones tecnológicas indicando que nunca ha tenido estímulos gubernamentales y que en general no son adecuados ni debidamente repartidas las capacitaciones en pueblos como Berbeo para favorecer a los pequeños o medianos productores.

En términos de la información para la adquisición de algún dispositivo inteligente IoT en la agroindustria, Israel nos menciona que en términos generales consideraba que la tecnológica no era aplicable a la agroindustria, si bien no había tenido contacto con la implementación de este tipo de dispositivos, incorporó un sistema de riego automático en cultivo de tomate bajo invernadero.

Esta Implementación le ha generado avances significativos en uso más eficiente del agua, aunque en términos cuantitativos no lleva un registro preciso de en cuanto se ve beneficiado el proceso de riego dentro del invernadero, recalca que la principal utilidad que le ha encontrado es en términos del ahorro de tiempo y de agua que por medio del dispositivo se genera.

- **Reconocimiento en potencial e impacto**

Finalmente, reconoce el enorme potencial que los dispositivos IoT brindan en cuanto a productividad para optimizar la planificación y sostenibilidad de la producción agrícola, pero alerta que el acceso a las herramientas y el saber requeridos continúa siendo un obstáculo considerable para numerosos productores en Boyacá.

FIGURA 10 Perfil del entrevistado a nivel IoT



John Freddy Caipa Roldán

Fundador de SIOT

 **Ingeniero Electrónico /Especialista en telecomunicaciones/master en Internet de las cosas.**

SOBRE MÍ

ingeniero electrónico especializado en telecomunicaciones y con un máster en Internet de las Cosas (IoT). Como fundador de SIOT Ingeniería, he implementado soluciones IoT en los sectores de hidrocarburos, agua y agricultura, mejorando procesos y optimizando el uso de recursos.

HABILIDADES

- Implementación de tecnologías IoT en diversos sectores.
- Gestión y optimización de sistemas de riego, monitoreo ambiental y control de plagas.
- Análisis de datos
- automatización de procesos.

CONTACTO

 318 4018777

 siot@siot-ingenieria.com.co

 <https://www.siot-ingenieria.com.co>

 Sogamoso, https://youtube.com/I-GI_7ppu1Q

EXPERIENCIA

Profesional en sectores de Hidrocarburos Agua y Agricultura

Implementó sistemas IoT para monitorear riesgos geológicos que afectaban oleoductos, utilizando sensores para medir deslizamientos de tierra y deformaciones en las tuberías, lo que permitió prevenir rupturas.

Fundador de la empresa CIOT Ingeniería

- Industria: Soluciones de monitoreo y automatización para mejorar procesos productivos.
- Campo: Implementación de tecnologías para optimizar cultivos, control de plagas, y gestión de recursos como el agua.
- Ciudades: Aplicación de sensores para medir calidad del aire y otras variables urbanas, mejorando la sostenibilidad de las ciudades.

Colaboración en proyectos y participación en conferencias

ASIEM: Realizó webinars y conferencias sobre IoT y nuevas tecnologías.

Universidad Santo Tomás: Fue invitado a hablar en el lanzamiento del programa de Ingeniería en Inteligencia Artificial, donde compartió su experiencia empresarial en la implementación de soluciones IoT.

EDUCACIÓN

INGENIERIA ELECTRÓNICA

ESPECIALISTA EN TELECOMUNICACIONES

MASTER EN INTERNET DE LAS COSAS

Nota. Perfil del entrevistado profesional de IoT John Freddy Caipa. Fuente: autor. Canva (2024)

11.5.2 Análisis de la entrevista

Dentro de la entrevista realizada al experto John Freddy Caipa Roldán, se abordaron temas clave sobre el uso de IoT en la agroindustria y su impacto en diferentes áreas agrícolas con un claro enfoque industrial y con implicaciones directas al departamento de Boyacá. John Freddy destacó la importancia de la implementación de diferentes dispositivos inteligentes y su aplicabilidad dentro del agro en donde se destacan variedad de dispositivos tecnológicos como lo son los sensores ambientales para un correcto seguimiento de una serie de variables resumidas principalmente en temperatura, humedad del suelo y pH, permitiendo prever eventos climáticos adversos, como heladas, y evitar pérdidas en cultivos de alto riesgo, en alimentos como los arándanos. Otro tema de principal interés fue el relacionado con la gestión inteligente del riego, donde la automatización basada en datos meteorológicos y en la forma como se optimiza el proceso de riego, lo que a su vez genera una disminución en términos de las múltiples enfermedades que se producen por medio de los cultivos. Además, resaltó el uso de sensores multispectrales y algoritmos de inteligencia artificial para el proceso de identificación de plagas y enfermedades a tiempo, mejorando la productividad y generando una posterior sostenibilidad en el proceso que se completa una vez aplicados los dispositivos inteligentes.

11.5.2.1 Aportaciones De SIOT a la agroindustria de Boyacá.

- **Monitoreo de clima y condiciones ambientales**

El entrevistado John Freddy Caipa ha trabajado en innumerables proyectos destacando aquellos donde se implementan una serie de sensores ambientales con el objetivo de monitorear una serie de variables clave como el pH. Estos sensores mencionados, permiten a los agricultores la generación de datos de la mayor precisión posible en tiempo real sobre las condiciones en sus campos o terrenos donde desarrollen sus procesos agrícolas, lo que lleva al objetivo principal de tomar decisiones rápidas y eficientes. Dichos datos generados permiten adelantarse a una serie de eventos climáticos adversos que pueden amenazar los cultivos, como las heladas, las sequías o lluvias intensas.

John Freddy toma como ejemplo, un proyecto de arándanos en Boyacá, en donde se implementó un sistema de sensores que lograba detectar cambios bruscos en niveles de temperatura, lo que les permitió a los agricultores recibir notificaciones de tiempo que se vio reflejado en horas de antelación sobre posibles heladas. Esta capacidad de respuesta temprana ayudó a proteger las cosechas de los cultivos. mediante la activación de sistemas de mitigación, y la reacción por medio de actividades como la cobertura o calefacción en los cultivos, reduciendo así las pérdidas innumerables y significativas que normalmente ocurren en condiciones extremas. Además, una vez generado los datos quedaran guardados en la nube por lo que servirán para ajustar estrategias agrícolas a largo plazo, optimizando tanto la planificación como el rendimiento que se genere en los cultivos.

- **Gestión inteligente de riego**

Una de las principales aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) dentro de la agricultura es la optimización del riego. El ingeniero John Freddy ha sido pionero dentro del departamento de Boyacá en la implementación de sistemas que utilizan variedad de sensores de suelo y generación de datos meteorológicos para controlar el riego de manera automática y eficiente. Estos sistemas mencionados no solo permiten medir en tiempo real la humedad en diferentes capas del suelo, también la temperatura ambiente y la radiación que transmite el sol, todo lo anterior mientras se hace un proceso constante de ajuste del riego de acuerdo con las necesidades exactas del cultivo.

Esto no solo ahorra agua, un recurso indispensable y cada vez más escaso, sino que también evita una serie de posibles riesgos desencadenantes que puede generar problemas de encharcamiento o desarrollo de enfermedades debido a una alta humedad que conforme el tiempo se convierte en un problema más grande y constante. Los diferentes datos climáticos, como los provenientes al momento de prevenir las lluvias, también se integran en estos sistemas, de modo que tengan un orden simultaneo en cuando una debe parar y cuando encender, todo con el objetivo de evitar el desperdicio de agua. Este enfoque de gestión inteligente del riego ha demostrado ser esencial, en donde se requieren grandes cantidades de este recurso, como en variedad de legumbres o en los tomates y otros cultivos en invernaderos. Otra de las grandes utilidades a largo plazo, está en la reducción agricultores a reducir costos operativos y mejorar la sostenibilidad ambiental.

- **Control de plagas y enfermedades**

El uso de sensores multiespectrales y algoritmos de inteligencia artificial han sido constantemente unas series de herramientas clave en la detección, control de plagas y enfermedades en los cultivos, como lo ha demostrado John Freddy en varios de sus proyectos. Estos sensores, además de ser instalados en los campos, también están siendo instalados en drones, por sus propiedades analizan aspectos visuales de las plantas que son difíciles de observar a simple vista, dentro de los aspectos que mencionó John Freddy se destaca el cambio en el color de las hojas o una serie de patrones de crecimiento inusuales, que usualmente son fuertes indicativos de una infección temprana o presencia de plagas. Al combinar cada uno de los datos generados con modelos predictivos basados en inteligencia artificial, se generan una serie de alertas de manera propicia para la generación de acción por parte del agricultor para los agricultores generando una notoria reducción del uso innecesario de pesticidas. Los desencadenantes se ilustran en la reducción de los costos asociados con la fumigación y el control químico, lo que contribuye a una agricultura más sostenible y sin interrupciones significativas que perjudiquen los procesos productivos.

- **Automatización y robótica en agricultura**

La incorporación de las nuevas tecnologías como la denominada 5G, inteligencia artificial y drones de última generación, le han permitido a John Freddy implementar soluciones nuevas en términos de automatización en la agricultura, en donde no solo se optimizan el uso de recursos,

sino como una de sus principales aplicaciones, reducen la necesidad de intervención humana en tareas de constante repetición. Uno de los principales ejemplos abordados por el ingeniero dentro del departamento de Boyacá, se destaca, el uso de drones de última tecnología los cuales se encontraban equipados con cámaras y sensores los cuales hacen monitoreos periódicos de grandes extensiones de tierra, recogiendo datos sobre la salud del cultivo, las condiciones del suelo y la presencia de plagas que se comen los cultivos. Estos drones mencionados pueden cubrir en que tomaría días inspeccionar manualmente, lo que no solo ahorra tiempo, sino que permite una detección más detallada y oportuna de cada uno de los problemas que se pueden generar. Además, con la aparición de redes más eficaces como la red 5G, se ha conseguido la introducción de tractores totalmente autónomos y otros sistemas notables. Estos sistemas al igual que los mencionados tractores poseen una determinada capacidad de moverse sin el uso de operadores, de manera autónoma, ya sea para el proceso de recolección de cosechas o para el proceso de utilización de fertilizantes, todo ello sin olvidar un nivel de exactitud nunca visto. Esta automatización sofisticada no solo incrementa en gran medida dos características importantes dentro del con el mínimo de recursos posibles, sino que también posibilita que los agricultores centren su atención en las labores más estratégicas, mientras que las máquinas se ocupan de las tareas cotidianas o aquellas que se repiten cada día.

Análisis de datos y predicción de cultivos

Para el Ingeniero John Freddy Caipa, los sistemas IoT, junto con los constantes avances en inteligencia artificial, han y seguirán el proceso de revolución de la forma en que se realiza el periodo de análisis de datos que se generan en el lugar donde se esté realizando el proceso agrícola. John Freddy por su parte ha implementado proyectos orientados a esta aplicabilidad de los dispositivos IoT los cuales recopilan grandes cantidades de datos que se obtienen a partir de una serie de sensores instalados directamente en los cultivos, de esta manera se genera un proceso en el que se predice cada uno de los comportamientos de estos y toma de decisiones de futuros procesos.

En el proyecto mencionado dentro del presente proyecto, referente al cultivo de tomates en Duitama, se destacan cada uno de los dispositivos inteligentes como los sensores que permitieron monitorear de manera periódica, las condiciones dentro de los invernaderos, se generaron procesos de optimización en el momento.

Finalmente, estas predicciones facilitan y ayudan de gran manera a los agricultores a planificar la comercialización de sus productos, ajustando la producción de acuerdo con las demandas del mercado y evitando sobreproducción o escasez. El uso de estos sistemas predictivos es de vital importancia con el fin de garantizar que los cultivos alcancen su máximo potencial en términos de calidad y cantidad.

- **Potencial e impacto de Proyectos destacados en la agroindustria**

Arándanos en Boyacá: El Proyecto piloto de arándanos en Boyacá, se llevó a cabo bajo una implementación de sistemas IoT para monitorear las condiciones ambientales y gestionar el riesgo es este caso para las heladas, el cual es un problema que genera un efecto drástico en el proceso de siembra de los productos, reduciendo significativamente el rendimiento, a esto se suma el hecho de que la helada es recurrente en la región. Los sensores instalados en el campo permitieron a los trabajadores de la región recibir un número de alertas iniciales sobre los primeros cambios que se presentaron en la temperatura, dándoles el tiempo suficiente para la incorporación de una serie de medidas preventivas en donde se destacan el cubrir cada uno de los cultivos o activar sistemas de calefacción. Un proceso en el que, por medio de esta tecnología de vanguardia, se evitó la pérdida de cosechas en múltiples ocasiones, y finalmente el proyecto se convirtió en un caso de éxito con aplicación de dispositivos inteligentes en este caso en contraposición de los climas adversos.

Tomates en Duitama: En este proyecto, se hizo uso de una serie de sensores en búsqueda del proceso de optimización en la producción de tomates en invernaderos, bajo un monitoreo directo y con ajuste de condiciones de riego y control de niveles de temperatura automáticamente. El ingeniero John freddy expone la justificación del proyecto bajo las siguientes premisas, los sensores no solo ayudaron a mantener las condiciones ideales para el crecimiento del producto (Tomate), sino que también redujeron significativamente el consumo de agua y fertilizantes. Además, los datos recopilados que se identificaron de manera temprana les permitieron a los

agricultores predecir la mejor época óptima para volver a realizar la cosecha, lo que mejoró la calidad del producto y facilitó su comercialización a precios más competitivos.

- **Desafíos asociados con la adopción de la tecnología**

En primera instancia el ingeniero John Freddy identificó el no conocimiento de muchos agricultores de las ventajas y aplicabilidades de la IoT para la agroindustria.

John Freddy identificó la conectividad como una de las principales barreras en general para el país, pero con principal foco en el departamento de Boyacá, para los que son de zonas rurales la falta de acceso a redes confiables limita de gran manera la capacidad que tienen los agricultores para poder generar un control de sus productos y cosechas vía remota.

El costo de los dispositivos tecnológicos también fue identificado como una barrera que según sea el tipo de dispositivo variara de costo, dicho costo que la mayoría no puede suplir, por lo que el reto de la asociatividad entre agricultores se vuelve clave para compartir costos y lograr acceder a estas tecnologías.

- **Aplicaciones Potenciales en Innovaciones tecnológicas**

Finalmente, el ingeniero John Freddy habló sobre una serie de desarrollos futuros en los que destaca la creación de sensores los cuales se alimentan por medio de la fotosíntesis de las plantas, lo que generaría un proceso de medición de variables ambientales y al momento de

cargarse sin depender de baterías, reduciendo de manera significativa el impacto ambiental y los costos operativos que se generen a futuro.

11.6 Identificación del Potencial e Impacto de las Tecnologías IoT en Boyacá

Con base a los resultados, se obtiene una idea más clara respecto a cómo las tecnologías IoT presentan gran potencial e impacto capaz de revolucionar la agroindustria dentro de Boyacá, al enfrentar problemas importantes sobre productividad, manejo de recursos y sostenibilidad ambiental. Entre los resultados y avances que merecen ser mencionados se hallan:

Tabla 18

Características frente a potencial e impacto

Característica	Potencial Descrito	Impacto generado
Monitoreo en tiempo real	Bajo un potencial de adaptabilidad para actuar de manera rápida frente a eventos climáticos desfavorables, como las heladas que suelen ocurrir en la región de Boyacá. Por medio de proyectos relacionados con el monitoreo climático como el identificado en cultivos de arándanos propios en Boyacá, los cuales han demostrado completa capacidad de anticipar heladas, salvando cosechas y mejorando en el proceso de reducción de pérdidas significativas.	En proyectos locales propiamente dentro del departamento de Boyacá, centrados en cultivos de gran magnitud como los son los arándanos, se ha comprobado la efectividad de estas tecnologías al proteger cosechas completas y minimizar pérdidas importantes. Lo que generaría un futuro impacto en términos de preparación en donde se contribuye en los procesos de mejora la estabilidad económica de los diferentes productores agrícolas, sino que también fortalece el proceso de resistencia del sector agroindustria en general ante un impacto en sostenibilidad que cada vez atañe a la población global.

Optimización de recursos	Los sistemas de riego inteligentes controlados por IoT en donde se identifica una capacidad de ahorro de recursos naturales como el agua de hasta el 40%. Tecnologías basadas en análisis predictivo ajustan el suministro de agua y fertilizantes.	Tecnologías basadas bajo el proceso de análisis predictivo ajustado a el suministro de agua y fertilizantes, lo que generaría que los cultivos reciban solo lo necesario dependiendo la actividad que se lleve a cabo.
Automatización y robótica agrícola	El uso de drones equipados con sensores multiespectrales que bajo sus beneficios permiten observar características invisibles o difícil de identificar para el ser humano. Posibilitando la rápida inspección cuando existen grandes extensiones de tierra las cuales deben ser analizadas, por lo que la detección mediante información y datos identificados.	La posibilidad de generar y favorecer la salud y calidad de los cultivos, sumado a la disminución de las pérdidas económicas al tener un tiempo de respuesta casi inmediata al tener información que antes desde la observación humana no era posible de detectar.

11.6.1 Impacto identificado en productividad

La implementación de tecnologías y dispositivos inteligentes dentro de la temática de IoT dentro de la agroindustria ha evidenciado tener un impacto real en los principales indicadores de productividad y eficiencia a nivel global. Priorizando en el departamento de Boyacá, se han observado aumentos en los rendimientos agrícolas, que oscilan entre el 20% y el 30%, gracias a la capacidad de ajustar las condiciones ambientales al instante. Esto no solo mejora la calidad inherente en cada uno de los cultivos, en donde se desarrolle el proceso, sino que también reduce los tiempos de respuesta mediante una información rápida y oportuna para tomar diferentes estrategias de control. Además, dichos procesos de introducción de sistemas de monitoreo a distancia, incluso en las zonas más aisladas del país, han colaborado en disminuir de manera significativa los gastos operativos, al reducir la frecuencia de los traslados y optimizar la

utilización del personal. La información final brindada por estas tecnologías facilita a los agricultores tomar decisiones fundamentadas y bajo tiempos establecidos, lo que promueve una planificación estratégica más efectiva y detallada.

11.6.2 Impacto identificado en sostenibilidad

La implementación de las mencionas tecnologías IoT dentro de la agroindustria ha posibilitado un proceso de importantes mejoras que se dividen desde la eficiencia de los recursos hasta la disminución en el uso de recursos naturales como el agua, sumado a la reducción de fuentes o productos convencionales como lo son los fertilizantes, lo cual genera un importante impacto positivo en el medio ambiente al favorecer la conservación de los recursos naturales. Además, de la adaptabilidad destacándose en el uso de diferentes tipos de energías limpias o mejor conocidas como energías renovables, destacando de igual manera la energía solar la cual cumple la función de abastecer los diferentes dispositivos, contribuye a reducir la dependencia de recursos naturales no renovables como los son los combustibles fósiles, lo que permite que la agricultura en general sea aún más sostenible y menos susceptible a los costos de energía que se generarían. Esto se completa con la supervisión en tiempo real de gases y partículas contaminantes, lo que permite preservar la pureza del aire y asegura el respeto de las disposiciones ambientales.

11.7 Resultados frente a los desafíos Asociados con la Adopción de Tecnología IoT en Boyacá

Tabla 19

Desafíos asociados

DESAFIO	DESCRIPCIÓN
Costo de implementación	Uno de los principales desafíos referenciados por los autores, que involucra principalmente a los pequeños y medianos agricultores están relacionados con los elevados precios en ciertos dispositivos tecnológicos según el proceso que desempeñen. Proyectos piloto y muy explicativo frente al desafío planteado, es el expuesto por el profesional a nivel agroindustrial Israel Martinez, el cual relaciona como los campos de tomate e invernaderos, han resultado exitosos. Sin embargo, su expansión a gran escala se ve obstaculizada por la escasez de recursos financieros destinados al proceso de incorporación de dicha tecnología requerida.
Conectividad en áreas rurales	Numerosos sistemas de IoT requieren conexiones estables para enviar datos al instante, lo cual puede llegar a ser complicado en zonas con una cobertura de red limitada. A pesar de que se están implementando tecnologías como LoRaWAN para potenciar la conectividad, se percibe una falta de cobertura en ciertas zonas.
Capacitación técnica de los agricultores	A muchos agricultores en Boyacá les falta la capacitación adecuada para utilizar eficazmente estas tecnologías. Especialmente en zonas rurales, donde la

	disponibilidad de programas de capacitación es limitada.
Resistencia a la adopción de nuevas tecnologías	La incertidumbre frente a las innovaciones y muestran la clara preferencia por la mayoría de los agricultores de seguir trabajando con prácticas tradicionales, lo cual obstaculiza la adopción de IoT en el sector agrícola. A dicha resistencia también se le suman aspectos como la desinformación de la aplicabilidad que tienen dichos dispositivos en el agro e incluso la desconfianza hacia la adopción de tecnologías emergentes.

11.7.1 Beneficios establecidos

- Aumento en la productividad en cada una de las aplicaciones en donde la IoT puede tener uso.
- Importante ahorro en el empleo de agua y fertilizantes, con una disminución de hasta el 40% en el consumo de agua.
- Disminución significativa en términos de gastos relacionados directamente con el desarrollo de la actividad, destacando las áreas de logística y transporte.
- Incremento de la eficiencia como los mencionados tractores que en términos de conducción ya no requieren que sean manejados por personas, lo que es entendida como otro beneficio por el agricultor en términos de maximización de su tiempo y recursos.

11.8 Recomendación de Estrategias para Facilitar la Integración de Tecnología IoT en Boyacá

Una vez identificados y expuestos los desafíos en los resultados anteriores se procedió a identificar aquellas recomendaciones y estrategias que ayuden a mitigar dichas problemáticas referenciadas.

Tabla 20

Estrategias sugeridas

DESAFIO IDENTIFICADO	ESTRATEGIA SUGERIDA
Subsidios y Financiamiento para la Adopción de IoT	Estrategia expuesta por medio del desarrollo de programas gubernamentales los cuales brinden una serie de ayudas en relación económica para el financiamiento de dispositivos IoT con enfoque principal en pequeños y medianos agricultores. Esto posibilitará de que el productor pueda beneficiarse de la aplicabilidad de estos dispositivos inteligentes sin tener que preocuparse por los costos iniciales excesivos que conllevan incorporar la tecnología que optimice sus procesos. El establecimiento y creación de nuevas alianzas que involucren el sector público y empresas tecnológicas como las mencionadas con aplicación en el departamento de Boyacá, con modelos de arrendamiento dependiendo el pago por el uso que se haga.
Ampliación de la Infraestructura de Conectividad	Utilización de nuevas tecnologías en donde la comunicación económica y de cobertura por medio de

	sistemas de red como LoRaWAN el cual nos ofrece comunicaciones inalámbricas de largo alcance con un notorio bajo consumo de energía, además de sumar redes de malla, con el propósito final de asegurar la conexión primeramente en zonas rurales apartadas donde la disponibilidad de internet es limitada.
Centros de Capacitación y Soporte Técnico	Estrategia especificada por medio de la búsqueda de formación técnica, formación que debe ser impartida desde los colegios, universidades, organismos gubernamentales e incluso las mismas compañías privadas que deseen involucrar dichos dispositivos tecnológicos. Estos centros deben priorizar en la búsqueda de capacitación de agricultores bajo los diferentes aspectos del cómo utilizar, mantener y aprovechar los beneficios de los dispositivos IoT.
Sensibilización y Educación en Tecnologías Emergentes	Mostrar y concientizar por medio de los diferentes ejemplos exitosos trabajados dentro del departamento de Boyacá, como los proyectos en Duitama y Boyacá, con el objetivo de fomentar la confianza en las tecnologías emergentes y disminuir la resistencia a la innovación.
Fomento de Asociaciones entre Agricultores	Generar un proceso de estimulación activa frente a la creación de cooperativas y asociaciones agrícolas esto con el objetivo de que agricultores tengan la posibilidad de compartir costos y recursos para la implementación de tecnologías IoT, todo bajo un modelo de economía colaborativa.

12. Discusión

En relación a los hallazgos encontrados en cada uno de los artículos investigativos analizados en Iot de la agroindustria de Boyacá, se detectaron sus principales aplicaciones las cuales se resumieron en: Monitoreo de clima y condiciones ambientales, gestión inteligente de riego, control de plagas y enfermedades y análisis de datos, todos ellos seleccionados dada el ejercicio metodológico realizado en el programa de cálculo Microsoft Excel, en donde de las características mencionada en los 30 artículos seleccionados en mayor medida dentro de los estudios seleccionados, destacando factores como el de datos obtenidos con características de análisis de productividad con 27%, sensores ambientales 16% máquinas inteligentes con el 14% en relación a el factor de utilidad productiva destacando la optimización con 23%, la mejora de la producción con 22% y predicción de cosechas con un 9% el factor tendencias en tecnología con características como conectividad con 35 % AI inteligencia artificial con 27 % trazabilidad con 16% y big data con 12 %. EL factor de sostenibilidad con agricultura de precisión 26% conservación de agua con 18% y cambios climáticos con 15 %. Finalmente, el factor de problemáticas con características de accesibilidad limitada con 42 % desinformación 31% y costos de implementación con 17%.

La síntesis de cada una de las características mencionadas generó mayor claridad en las aplicaciones más importantes y aquellas que se tendrían en cuenta para el análisis con los artículos trabajados dentro del departamento de Boyacá.

FIGURA 11

Aplicaciones de IoT en la agroindustria.



Nota. Fuente elaboración propia (2024)

Dichos análisis fueron delimitados bajo dos términos principales que son los de productividad y sostenibilidad, el análisis encontrado nos permitió entender los siguientes conceptos:

12.1 Optimización del Monitoreo Climático y de Suelo

(Hernández R. E., 2020), (Montaño, 2023), (Hussain, 2023), (Jiménez-López, 2022), (Salamanca-Figueroa, 2018), Autores que resaltaron en sus estudios investigativos, por contar con características relacionadas directamente con el uso de sensores y redes IoT para supervisar múltiples variables del entorno, principalmente en temperatura y humedad. El sistema de

monitoreo se centra en posibilidad de ajuste para adaptar el manejo de los cultivos a las circunstancias ambientales adecuadas en tiempo real, lo que genera un incremento en la productividad al disminuir cada pérdida que se puede presentar por condiciones fuera de lo habitual o desfavorables. En lo que corresponde a sostenibilidad sobresale en primera instancia la reducción del impacto ambiental al evitar una serie de uso desmedido de recursos que con el convencional proceso se realiza, de esta manera fomentando prácticas agrícolas responsables.

Investigaciones como las de (Ramírez 2020) y (Velazco 2020) destacan que los sensores ambientales, instalados con el propósito de monitorear condiciones como lo son la temperatura y la humedad del suelo, son elementos claves para optimizar procesos en los cultivos. (Ramírez 2020) enfatiza desde un panorama local en el municipio de Cocuy Boyacá del cómo el monitoreo remoto de áreas de difícil acceso reduce costos y mejora la eficiencia operativa mediante el uso de energías limpias, lo que ayuda a minimizar el impacto ambiental. Por su parte Velazco, en cambio, subraya y enfatiza que estos sistemas permiten una respuesta temprana frente a eventos climáticos adversos, lo que es el foco a la hora de proteger cultivos sensibles cuando hay alta volatilidad en el clima. Incluso, en los proyectos de arándanos en Boyacá mencionados por el ingeniero en IoT John Caipa, se ha logrado implementar esta tecnología para prever heladas, generando alertas que permiten tomar medidas seguras, preventivas y evitar pérdidas significativas. Evidenciando cómo las aplicaciones IoT se adaptan al contexto climático dentro del departamento de Boyacá.

12.2 Riego Inteligente y Controlado

Los artículos de (García, F. R. M. 2019), (Poyato, E. 2021), (Alcívar, B. R, 2024), (Hussain,2023), (Llanos, L. E, 2016), (Martin, L. G, 2020), tienen un acercamiento en donde abordan el desarrollo de sistemas de riego automatizados con base en dispositivos IoT, lo que permite generar un correcto ajuste en el suministro de agua según se el conjunto de necesidades específicas para el cultivo y para el suelo donde se desarrollará el proceso agrícola. Esto incrementa la productividad al reducir la dependencia de riego por algún trabajador y evitar el denominado estrés hídrico en las plantas generado ante la poca disposición de agua en la tierra. Además, alineado con el término de sostenibilidad, estos sistemas de riego inteligente disminuyen considerablemente el consumo de un recurso natural tan importante como el agua y permiten una agricultura más amigable con el medio ambiente, ya que se usa el recurso de forma eficiente y en menores cantidades lo que genera una optimización del proceso.

En términos aplicados directamente hacia el riego, autores como John Freddy Caipa han descrito el valor de los sensores de suelo y la información meteorológica. De igual manera se destaca el proyecto piloto de tomates en Duitama, en su proceso de gestión de riego automatizado con la incorporación de dispositivos IoT los cuales permiten un balance entre la cantidad de agua y la necesidad propia de cada cultivo. El sistema se enfoca en un ahorro puntual del agua y el evitar un conjunto de enfermedades asociadas con un riego excesivo. permite un ahorro significativo de agua, un recurso vital y limitado, y también reduce la incidencia de enfermedades asociadas con el riego excesivo. El profesional a nivel Agroindustrial Israel Martínez mencionó cómo por medio

de su sistema de riego de tomates bajo invernadero ha notado mejoras en la reducción de tiempo necesario para realizar el trabajo, siendo este un caso pequeño pero aplicado propiamente dentro del municipio de Berbeo Boyacá. Caipa hace mención en relación con el tipo de tecnología aplicada no solo en la mejora de la productividad al asegurar un suministro adecuado de agua, sino que también a un alto nivel de contribución a la sostenibilidad principalmente entendida por la reducción del consumo de agua. Israel Martínez, sin embargo, propiamente para la aplicación de sistemas de riego hace hincapié en que la adquisición de este tipo de dispositivos sigue siendo inaccesible para la mayoría de pequeños y medianos productores, mucho más en departamentos como Boyacá quienes no pueden costear la instalación de sistemas más avanzados de riego, sin recurrir a algún tipo de financiamiento.

12.3 Gestión de Plagas y Enfermedades

Los artículos (Ramirez, 2024), (Méndez,2023), (Hussain,2023). Para los autores mencionados, se hace un proceso de priorizados respecto a la relación que tienen con la aplicación en relación a la gestión de plagas y enfermedades, cada uno de los autores en sus artículos presentan aspectos en los cuales se exponen opciones de mitigación de dicha problemática mediante el uso de sensores y trampas electrónicas generando una reducción frente al uso de pesticidas convencionales, vista desde la problemática de pérdida de cultivos, (Ramirez, 2024).Propone mejoras por tipo de infestaciones al detectar y tratar a tiempo áreas críticas o propensas a dificultades en la gestión de plagas, lo que no solo genera un proceso desarrollado de manera específica y controlada. En términos de sostenibilidad, estos sistemas reducen el uso de

productos químicos, lo cual conserva la salud y calidad del suelo y de igual manera es principal factor en la búsqueda de resguardar la biodiversidad mediante la reducción del uso excesivo de pesticidas en el entorno.

Directamente, estudios de (Salamanca-Figueroa 2018) y (Jiménez-López 2022) refuerzan sus lineamientos investigativos, mostrando cómo el uso de IoT en la detección de plagas permite una respuesta ágil en términos que se reduce la necesidad de pesticidas, lo que genera la promoción de esa manera de una agricultura más sostenible para el caso del citado autor (Jimenes-López 2022) directamente trabajado dentro del departamento de Boyacá. No obstante, Israel Martínez Profesional agroindustrial observa que, si bien los drones son útiles y relativamente más accesibles que otros dispositivos, aún existe una curva de aprendizaje para los agricultores de Boyacá que necesitan capacitación adecuada para maximizar el uso de esta tecnología, priorizando en la metodología a seguir para control de plagas.

12.4 Automatización y Robótica en Agricultura

En los textos (Montaño,2023), (Troya, W. G. 2022), y (Llanos, L. E. 2016), los mencionados autores hacen mención que la integración de robótica y dispositivos IoT en labores agrícolas, como siembra y seguimiento, potencia la productividad y el tiempo necesario para llevar a cabo tareas repetitivas. Esto favorece la sostenibilidad dado que estas tecnologías mejoran la utilización de maquinaria.

La implementación de drones y otros sistemas automatizados ha facilitado la disminución de la demanda de trabajadores para labores repetitivas, tales como la revisión de campos y la recopilación de información. Por ejemplo, en Boyacá, Caipa ha utilizado drones para llevar a cabo seguimientos de extensas áreas de tierra en tan solo minutos, consiguiendo así una identificación más temprana de problemas como la escasez de nutrientes. Propiamente con la instalación de tractores autónomos empresas con aplicaciones en Boyacá como Campo Smart buscan priorizar en el concepto de productividad y autonomía por medio de tecnología de punta. Con este tipo de tractores mejoraría la eficiencia y se posibilitaría que los agricultores se centren propiamente en sus labores de planificación estratégica.

Finalmente se recalca de nuevo la mención por parte de Israel Martínez quien fundamentado en su experiencia en el campo en términos de automatización y robótica manifiesta la barrera de los costos que genera dicha maquinaria y que en general en el departamento de Boyacá ha sido limitada la incorporación de equipo tecnológico para el campo. La investigación de (Hussain 2023) apoya la observación mencionada, destacando el aspecto que, aunque los robots y maquinaria autónoma pueden lograr mejorar en términos de productividad en regiones específicas con cultivos extensivos, su aplicación propiamente en Boyacá sigue siendo un reto debido a la falta de financiamiento y conectividad. Martínez concluye que, aunque la automatización es una meta ideal, su viabilidad depende de una inversión sustancial en infraestructura y capacitación.

12.5 Análisis de Datos y Modelos Predictivos

Los artículos (Montaño,2023), (Hussain,2023), (MOTTA,2024), (Jiménez-López,2022), examinan el uso de análisis de datos y modelos predictivos en agricultura. Para el caso de Motta y Jiménez con aplicación dentro del departamento de Boyacá con sistemas que elevan la productividad al prever de una serie de necesidades y optimizar el uso de fertilizantes y agua según la predicción de rendimientos al agricultor contar con información necesaria para personalizar sus propias series de estrategias para cada área de cultivo teniendo en cuenta las condiciones locales propias de cada terreno, del mismo modo que se tiene una mayor trazabilidad del producto de siembra. (Ruge, Jiménez, & Torres, 2021) por su parte definen modelos predictivos lo que ayuda a un proceso de planificación y gestión de costos más eficiente. Desde la perspectiva de la sostenibilidad, permitiendo una gestión vista con la mayor precisión posible y mínima de insumos, con reducción de desperdicios y evitando series de contaminantes de aguas subterráneas y suelos.

En los proyectos aplicados de cultivo de tomate, (Espinosa 2023) resalta cómo los datos en tiempo real permiten optimizar en niveles de temperatura, el riego, y fertilización, asegurando una serie de condiciones óptimas. Además, del mencionado análisis predictivo el cual facilita la producción en función de la demanda del mercado, asistiendo a los agricultores para prevenir tanto la excesiva producción como la falta de existencias. Esta habilidad para predecir no solo incrementa la productividad, de igual manera se ve reflejado en la sostenibilidad al disminuir el derroche y la utilización de recursos agrícolas.

13. Conclusiones

La implementación de tecnologías IoT en la agroindustria Nacional e internacional muestra un potencial indiscutiblemente considerable con mayores resultados en el sector Agroindustrial, para el caso específico de Boyacá dicho potencial también se ve reflejado especialmente en términos de productividad y sostenibilidad, A través de un análisis exhaustivo de las principales aplicaciones de IoT a nivel global y su adaptación en el departamento de Boyacá, concluyendo que la implementación de sensores, diferentes sistemas de automatización, drones y análisis de datos para información oportuna y ágil ofrece numerosos beneficios tangibles en recursos, en la optimización de procesos y en los procesos de mitigación de los efectos ambientales orientados hacia el concepto de sostenibilidad. Esta serie de beneficios concuerda con la exigencia de incrementar la competitividad de la agroindustria de Boyacá.

Respecto a los objetivos propuestos para reconocer las aplicaciones presentes y futuras de IoT en la agroindustria mundial, se notó que las aplicaciones más relevantes comprenden el seguimiento del clima, la administración inteligente del riego, la regulación de plagas y enfermedades, la automatización de labores y el estudio predictivo de datos. Estas aplicaciones no solo han evidenciado su importancia en áreas con avances tecnológicos, sino que también se han ajustado exitosamente en regiones como Boyacá, donde el clima y las particularidades del terreno suponen retos únicos.

El proceso de análisis de cada uno de los beneficios y retos vinculados en relación con el proceso de implementación de la tecnología IoT en el departamento de Boyacá, demuestran una serie de resultados que en líneas generales existen bajo una serie de beneficios significativos en donde se destaca la reducción de costos, una mejora de eficiencia en utilización del mínimo de recursos, en orden de cumplimiento de las tareas y finalmente el incremento en productividad, lo anteriormente mencionado sin dejar de lado una serie de desafíos importantes. Entre estos retos se encuentran los de nivel monetario, vinculados al costo de alguno de los dispositivos IoT, la falta de infraestructura, de conectividad en áreas rurales y la necesidad urgente de procesos de capacitación infundados desde la gobernación para los agricultores de los numerosos municipios del departamento, los cuales desconocen en la mayoría de los casos de las utilidades y aplicaciones que pueden tener los dispositivos de IoT en el proceso de mejora en cada uno de los procesos agroindustriales. No obstante, cabe destacar las ventajas en proyectos piloto en Boyacá, tales como la implementación de riego automatizado en invernaderos y la vigilancia de las condiciones ambientales para prevenir heladas, en donde se evidencia que la inversión en IoT puede resultar sumamente lucrativa y eficaz si se brinda un proceso de respaldo apropiado para llevar a cabo los procesos.

De igual manera es crucial tener en cuenta el proceso de adaptación de los dispositivos de tecnología IoT a las circunstancias del campo y futuros procesos agroindustriales, garantizando que sean fuertes y capaces de resistir numerosos cambios ambientales. El uso de herramientas de

código abierto constituye una excelente opción para no solo el progreso tecnológico en la industria agrícola sino como facilitador de nuevos modelos tecnológicos.

Los conceptos de sostenibilidad, la aplicación principal de tecnologías de IoT en Boyacá promueve una agricultura más respetuosa con el medio ambiente, en la mayoría de las aplicaciones donde la IoT interviene. No obstante, destaca la automatización del riego y el uso de sensores para controlar las condiciones climáticas, no solo previniendo un consumo excesivo de agua, sino también reduciendo el impacto ambiental al disminuir la utilización de recursos como fertilizantes y pesticidas. Se están investigando soluciones, como la tecnología LoRa y la utilización de drones, para superar estas restricciones. Esto permitiría ofrecer una cobertura más amplia y eficaz en áreas rurales. La tecnología LoRaWAN supone una innovación crucial para la agroindustria en Boyacá y otras regiones, ya que permite una conectividad IoT.

En las entrevistas realizadas a profesionales en el sector agroindustrial y en el sector tecnológico, se obtuvieron valiosas series de perspectivas sobre el proceso de como dichos dispositivos tecnológicos pueden ser incorporados dentro del departamento de Boyacá. Los puntos de principal enfoque inician con el impacto en la mejora de los procedimientos agrícolas, Estos avances se logran a través de herramientas relacionadas con las mismas aplicabilidades expuestas es decir en términos de monitoreo del clima, la gestión inteligente del agua y el control de plagas. El claro ejemplo es el concerniente a la gestión inteligente de riego en donde los sistemas se ajustan propiamente al suministro de agua en función a las necesidades propias de cada tipo de cultivo, beneficiando en un ahorro de agua de hasta un 40 %, generando reducción de costos operativos.

No obstante, también es importante destacar aquellos obstáculos significativos, que proponen desafíos de su integración como los mencionados por el entrevistado John Freddy Caipa, como la carencia de infraestructura en zonas rurales, la necesidad de formación desde las escuelas, la resistencia cultural al cambio y limitaciones económicas. A pesar de los retos mencionados, los expertos están de acuerdo que para intentar mitigar dichas problemáticas es importante contar con ayuda gubernamental y una mayor inversión en proyectos tecnológicos y programas educativos. Bajo esas condiciones es como el departamento puede convertirse en un referente en la aplicación de IoT en el sector de la agroindustria, impulsando y siendo modelo para el resto del país bajo unas ideas de desarrollo sostenible y más productivo.

El desarrollo de sensores alimentados por medio de la fotosíntesis de las plantas, representa una aplicabilidad potencial en la búsqueda de innovaciones que permitan un mayor grado de optimización de procesos dado que involucra directamente un hito revolucionario en avances sostenibles con el medio ambiente dado que eliminarían la dependencia de baterías, sumado a la reducción de costos operativos, generar un acercamiento hacia la idea de agricultura de precisión avanzada que revolucione el sector agroindustrial.

En lo concerniente a las estrategias para mejorar la incorporación de la tecnología IoT en la agroindustria de Boyacá, esta investigación propone una serie de enfoques prácticos. En primera instancia, resulta fundamental la generación conjunta de centros de capacitación y asesoría técnica con entidades gubernamentales. Esto permitiría a los agricultores maximizar el aprovechamiento de dichas tecnologías, promoviendo así una adopción más ágil y efectiva. Igualmente, se debe

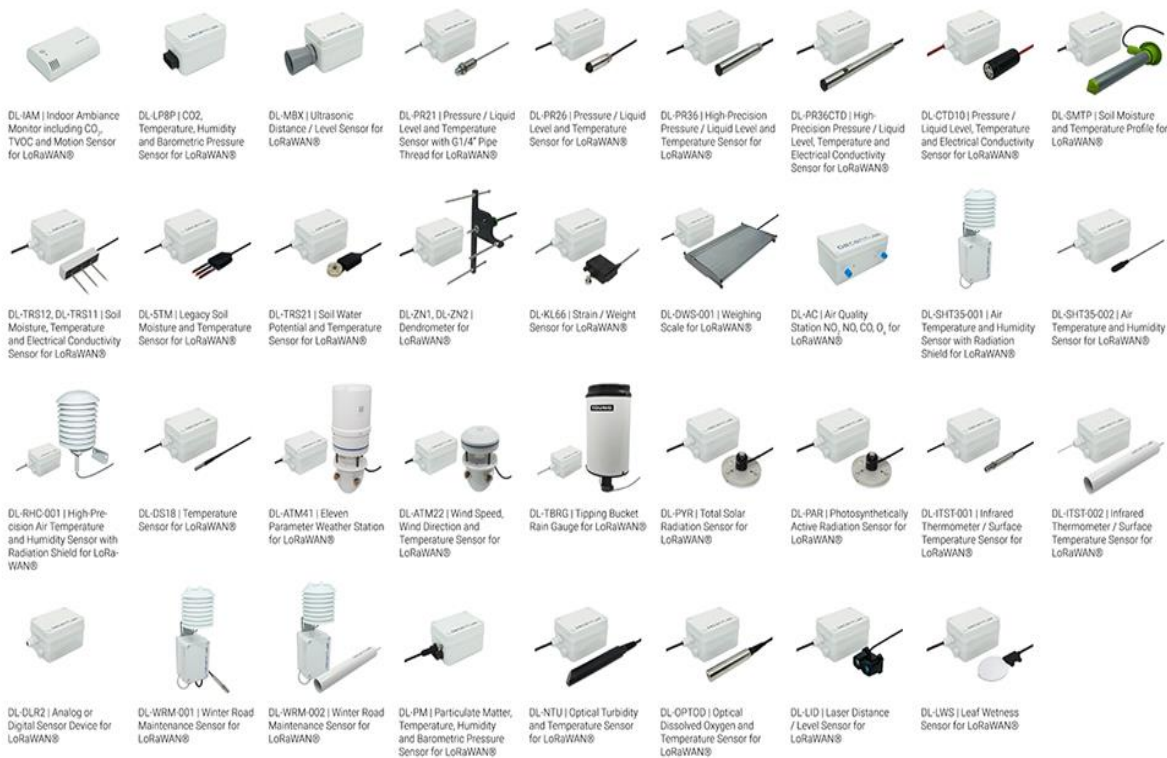
trabajar en el desarrollo de programas de financiamiento y subsidios que permitan que los dispositivos IoT estén al alcance de los agricultores en Boyacá, quienes constituyen una parte significativa del sector agrícola. En adición, considera finalmente ampliar las redes de conexión en áreas rurales. Esto asegurará que los dispositivos de IoT funcionen sin interrupciones y con fiabilidad, siendo fundamental para captar información al instante y adaptar las estrategias agrícolas de forma inmediata.

14. Anexos

- Dispositivos IoT manejados en Empresa SIOT

	
Válvula de automatización de riego.	Sensor Inteligente pk23-12-lorawan
	
Ultra Sonic Distance/Sensor de niveles	Compact Ultrasonic-estacion de meteorología

- Catálogo de dispositivos que distribuye SIOT ingeniería



- Encuentro VII de investigación desarrollo e innovación en el sector aeronáutico (F-Drone)



VISITANTE NACIONAL

Sr.(a): **Carlos Alejandro Martínez Leguizamo**

Bienvenido(a) a FERIA INTERNACIONAL INDUSTRIAL DE BOGOTÁ

Gracias por registrarse, su código de acceso ha sido habilitado.



15. Referencias

- Durán Cantillo, E. O. (2019). Análisis de la implementación del internet de las cosas en la agroindustria colombiana para optimizar y aumentar los procesos de producción.
- Barnes, A., Soto, I., Peor, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sanchez, B., . . . Gomez, M. (2019). influencing incentives for precision agricultural technologies within European arable farming systems. *Environmental Science Policy*, 93(1), 66-74.
- Kwang, S., Lee, H., Kim, J., & Kim, K. (2021). Soil moisture sensor-based automated irrigation of Cymbidium under various substrate conditions. *Scientia Horticulturae*, 286(1), 110-133.
- Ruge, I. A. R., López, F. R. J., & Amaya, A. T. Programmable devices applied to agriculture: Present and opportunity in the Boyacá region-Colombia.
- V.Suma. (2021). Internet-of-things(loT) based smart agriculture in india. *Journal of ISMAC*, 3(1), 1-15.
- Cerón, A. F. (10 de 09 de 2020). TRANSFORMACIÓN, MERCADO Y PRODUCCIÓN. *REVISTA UNIVERSIDAD EAFIT - AGROTECH*. Obtenido de <https://www.eafit.edu.co/investigacion/noticias/Paginas/tan-cerca-y-tan-lejos-de-la-agricultura-4-0-en-colombia.aspx>

Bongiovanni, Rodolfo, Mantovani, E, Best, Stanley, & Roel, Alvaro. 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Procisur/IICA

García, Emiliano, & Flego, Fernando. 2008. Agricultura de precisión. Revista ciencia y tecnología. recuperado de http://www.palermo.edu/ingeniería/ciencia_y_tecnología/ia/ciencia_y_tecnología/tecnología/tecnología8.html.

Gil, Emilio. 2010. Situación actual y posibilidades de la agricultura de precisión. Gironés, Jesús Tomás. 2011. El gran libro de Android. Marcombo.

Mantovani, Evandro Chartuni, & Magdalena, Carlos. 2014. Manual de agricultura de precisión. Embrapa milho e sorgo-livro científico (alice).

Ana, Dilek, & Martin-Prével, Pierre. 1999. Improved crop quality by nutrient management. Vol. 86. Springer Science & Business Media.

Prokopenko, J. (1989). La gestión de la productividad

Urueña, A. M. M., & Moreno, M. A. M. (2020). Importancia del talento humano y herramientas tecnológicas en el desarrollo organizacional, para la mejora de la productividad laboral. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 7(14), 117-126.

- Hart, S. L., & Milstein, M. B. (2003). Creating sustainable value. *Academy of Management Perspectives*, 17(2), 56-67.
- Elkington, J. (1999). Triple bottom line revolution: reporting for the third millennium. *Australian CPA*, 69(11), 75-76.
- Gil, A. M., & Barcellos, P. (2009). Proceso de selección de elementos que contribuyen al crecimiento sostenible de la empresa. In *Social responsibility and corporate environment evaluation indicators. Proceeding of International Conference and Doctoral 11 Consortium for ISEOR and Academy of Management* (Vol. 1).
- Qué es la agroindustria y su importancia.* (s.f.). doi: <https://agbaragriculture.com/que-es-agroindustria-importancia/>
- Buitrago, N. D. (2017). Empresas agroindustriales dinamizan la. *ESPACIOS*, 2.
- Castrillón, J. C. (8 de octubre de 2023). *¿Qué es la agroindustria en Colombia? – Descubre su Definición y Contribución Económica.* doi: <https://agroenlace.co/que-es-la-agroindustria-en-colombia/>
- Rios Hernández, R. E. (2020). Prototipo de monitoreo de calidad de condiciones ambientales a bajo costo con tecnologías IOT.

Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164-173.

Evans, D. (2011). The internet of things. *How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything, Whitepaper, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, 1, 1-12.

López, A. F. (2020). Modelo Basado en Agentes Inteligentes como Soporte a la Gestión del Riego en Cultivos Agrícolas.

Nautiyal, M., Grabow, G.L., Miller, G.L., & Huffman, R.L. 2010. Evaluation of two smart irrigation technologies in cary, north carolina. Page 1 of: 2010 pittsburgh, pennsylvania, june 20-june 23, 2010. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Rodríguez-Ortega, W.M., Martinez, V., Rivero, R.M., Cámara-Zapata, J.M., Mestre, T., & García-Sánchez, F. 2017. Use of a smart irrigation system to study the effects of irrigation management on the agronomic and physiological responses of tomato plants grown under different temperatures regimes. *Agricultural water management*, 183, 158–168.

Hernández, R. E. (2020). Prototipo de monitoreo de calidad de condiciones ambientales a bajo costo con tecnologías IOT.

ovett, G. M., D. A., D., C. T., J., J. C., M., & M. J., R. L. (2007). Who needs environmental monitoring? *Frontiers in Ecology and the Environment*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43102610/Who_needs_environmental_monitoring20160226-27808-907osh-libre.pdf?1456504950=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DWho_needs_environmental_monitoring.pdf&Expires=1728403061&Signature=DWryPevd2xBh

Sreekantha, D. (2016). Automation in agriculture: a study. *International Journal of Engineering Science Invention Research & Development*, 2(10), 823-833.

Gandge, Y. (2017, December). A study on various data mining techniques for crop yield prediction. In *2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT)* (pp. 420-423). IEEE

Sagar, B. M., & Cauvery, N. K. (2018). Agriculture data analytics in crop yield estimation: a critical review. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.*, 12.

Montaña. (2012). Journals Openedition. *Journals Openedition*. Obtenido de <https://journals.openedition.org/cal/2690>

Pérez, R., Navajas, S., & Terry, E. (2019). BID (Banco Interamericano de Desarrollo). Obtenido de BID (Banco Interamericano de Desarrollo):

https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/IoT_en_ALC_2019_Tomando_el_pulso_al_Internet_de_las_Cosas_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es.pdf

Marco legal de Colombia. (s.f.). Recuperado el 2024, de Políticas CTI:

http://bd.politicascsti.net/report_SI.php/instrument/ver/92/es

Ramirez. (2024). *Aproximaciones bibliométricas del uso del internet de las cosas (IOT) en las cadenas de suministros del sector agroindustrial* (Vol. 12). Investigación e Innovación en Ingenierías.

Nayagam, M., & Vijayalakshmia, B. (2023). Control of pests and diseases in plants using IOT Technology. *Measurement: Sensors*.

Khanna, A., & Kaur, S. (2019). Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157(December 2018), 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039>

Zhao, J. C., Zhang, J. F., Feng, Y., & Guo, J. X. (2010). The study and application of the 74 IOT technology in agriculture. *Proceedings - 2010 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, ICCSIT 2010*, 2, 462–465. <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2010.5565120>

- Bo, Y., & Wang, H. (2011). The application of cloud computing and the internet of things in agriculture and forestry. Proceedings - 2011 International Joint Conference on Service Sciences, IJCSS 2011, 168–172. <https://doi.org/10.1109/IJCSS.2011.40>
- Bandyopadhyay, D., & Sen, J. (2011). Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58(1), 49–69. <https://doi.org/10.1007/s11277-011-0288-5>
- Rios Hernández, R. E. (2020). Prototipo de monitoreo de calidad de condiciones ambientales a bajo costo con tecnologías IOT.
- Gutierrez Leon, E., Montiel Arguijo, J. E., Carreto Arellano, C., & Menchaca García, F. R. (2019). Propuesta de sistema de gestión inteligente basado en IoT para hidroponia. Research in
- Lojano Angamarca, M. D., & Méndez Vásquez, R. B. (2023). Desarrollo de un sistema de monitoreo y rastreo de productos agrícolas utilizando IoT, caso de estudio cacao (Bachelor's thesis).
- Montaño-Blacio, M., González-Escarabay, J., Jiménez-Sarango, Ó., Mingo-Morocho, L., & Carrión-Aguirre, C. (2023). DISEÑO Y DESPLIEGUE DE UN SISTEMA DE MONITOREO BASADO EN IOT PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (30), 9-18.
- Puig Pérez-Barquero, F., Rodríguez Díaz, J. A., González Perea, R., & Camacho Poyato, E. (2021). Desarrollo de una plataforma IoT para la gestión del riego de precisión.

López, A. F. J., López, F. R. J., Ramírez, D. Y. G., Guevara, E. J., & Quiñones, A. J. P. (2024). TRAMPA ELECTRÓNICA IOT PARA EL MONITOREO DE SPODOPTERA FRUGIPERDA EN CULTIVOS DE MAÍZ (IOT ELECTRONIC TRAP FOR MONITORING SPODOPTERA FRUGIPERDA IN CORN CROPS). *Pistas Educativas*, 45(147).

Dávalos Alcívar, B. R. (2024). Aplicación para administración de un sistema de IOT de riego inteligente (Bachelor's thesis).

VERA POLANCO, L. A. (2023). prototipo de telecontrol para agricultura inteligente mediante iot y tecnología inalámbrica (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum).

Astudillo Troya, W. G. (2022). Agricultura 4.0 tecnologías empleadas en labores agrotécnicas (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).

Ali, A., Hussain, T., Tantashutikun, N., Hussain, N., & Cocetta, G. (2023). Application of smart techniques, internet of things and data mining for resource use efficient and sustainable crop production. *Agriculture*, 13(2), 397.

Espinosa Caviedes, Y., & Fonseca Reyes, J. L. (2023). Prototipo de software para controlar la asistencia de riego y temperatura con predicción de eventos en los cultivos de cebolla larga.

Anaya-Isaza, A., Peluffo-Ordoñez, D. H., Ivan-Rios, J., Castro-Silva, J. A., Ruiz, D. C., & Llanos, L. E. (2016). Sistema de Riego Basado en la Internet de las cosas (IoT). *Conferencias Internacionales FICA*.

Ramirez Velazco, D. S. (2020). *Diseño de un sistema de monitoreo remoto, para un cultivo de papa en la vereda Pantano Grande, del municipio del Cocuy (Boyacá)* (Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás).

García Caro, J. D., & Martin Martin, L. G. (2020). *Sistema de monitoreo para invernadero “Del huerto” mediante el protocolo de comunicación MQTT para fomentar el uso de herramientas tecnológicas en pequeñas áreas de producción agrícola en zonas urbanas de la ciudad de Chiquinquirá, Boyacá* (Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás).

(2024). *DISEÑO Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE UNA BASE DE DATOS PARA GANADO BOVINO DE PRODUCCION COMO MODELO DE NEGOCIO EN BOYACÁ- “COUNTRY MEMORIES”*. Universidad Santo Tomás.

Alfonso, P., & Eduardo, C. (2023). *Aplicación de las tecnologías IOT para el monitoreo de variables en el sector ganadero en Cundinamarca y Boyacá, enfocado en áreas rurales con cobertura mínima de GSM*.

Jiménez-López, F. R., Sanchez-Uriza, E. J., & Jiménez-López, A. F. *Wireless Sensor Networks and IoT Applied to Fruit Tree Cultivation in Boyacá, Colombia: An Innovative Approach in Agriculture*.

Ruge Ruge, I. A., & Pérez Holguín, W. J. (2017). *Diagnóstico tecnológico del uso de dispositivos programables en la industria boyacense. Caso de estudio: cadena agroindustrial de la panela. Tecnura, 21(52), 130-147.*

Espinosa Caviedes, Y., & Fonseca Reyes, J. L. (2023). Prototipo de software para controlar la asistencia de riego y temperatura con predicción de eventos en los cultivos de cebolla larga.

Ruge, I. A. R., López, F. R. J., & Amaya, A. T. Programmable devices applied to agriculture: Present and opportunity in the Boyacá region-Colombia.

Anaya-Isaza, A., Peluffo-Ordoñez, D. H., Ivan-Rios, J., Castro-Silva, J. A., Ruiz, D. C., & Llanos, L. E. (2016). Sistema de Riego Basado en la Internet de las cosas (IoT). *Conferencias Internacionales FICA*.

Salamanca-Figueroa, F. A., Suarez-Rodríguez, W. A., & Cárdenas-Gamboa, C. C. (2018). Prototipo de monitoreo y alarma para la detección de heladas blancas en sectores rurales de Sogamoso. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 18(1), 57-64.

León, J. A. (2019). Sistema IoT para supervisar la calidad en caudales superficiales, a partir de la normatividad ambiental. *UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, BOYACÁ*.

Gaspar, P. D., Fernandez, C. M., Soares, V. N., Caldeira, J. M., & Silva, H. (2021). Development of technological capabilities through the internet of things (Iot): Survey of opportunities and barriers for iot implementation in Portugal's agro-industry. *Applied Sciences*, 11(8), 3454.

Soriano, J. D. (2019). Economic, Social, and Business: Revolution 4.0, Industry VS Agriculture in a Future of Agro-industry Development.

Evans, D. (2011). The internet of things. *How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything, Whitepaper, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 1, 1-12.*

Gaspar, P. D., Fernandez, C. M., Soares, V. N., Caldeira, J. M., & Silva, H. (2021). Development of technological capabilities through the internet of things (Iot): Survey of opportunities and barriers for iot implementation in Portugal's agro-industry. *Applied Sciences, 11*(8), 3454.

Muñoz, M., Morales, R. G., & Sánchez-Molina, J. A. (2024). Comparative analysis of agricultural IoT systems: Case studies IoF2020 and CyberGreen. *Internet of Things, 101261.*

Hualpa Zúñiga, A. M., & Rangel Díaz, J. E. (2023). Trazabilidad en el sector agrícola: una revisión para el periodo 2017–2022. *Agronomía Mesoamericana, 34*(2), 51828.

dereck. Patel, D. (2022). *Integración de sistemas IoT en la gestión del agua agrícola.*
Journal of Agricultural Engineering, 58(3), 345-367.

Másmela, J. O., Romero-Perdomo, F., & Galvis, C. U. Tecnologías emergentes para el agro y su aplicación en Colombia.

FABIO, J. A. C. P. H., & RENGIFO, C. La robótica móvil, una herramienta para la innovación y el mejoramiento del sector agroindustrial.

- Martinez, J. L. D., Salcedo, D., Mercado, T., Quiñonez, Y., & de la Hoz, A. M. (2024). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual y su aplicación mediante un prototipo. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (53), 106-121.
- Sharma, K., & Shivandu, S. K. (2024). Integrating Artificial Intelligence and Internet of Things (IoT) for Enhanced Crop Monitoring and Management in Precision Agriculture. *Sensors International*, 100292.
- Tamayo, G., Maximiliano, A., Samaniego Chamba, D. A., & Alulema Flores, D. O. Diseño e implementación de un sistema de televisión digital interactiva aplicada a internet de las cosas para un sistema de Smart Agro.
- Oviedo-Lopera, J. C., Oviedo-Carrascal, A. I., Carmona-Rodríguez, C. S., Velez-Saldarriaga, G. L., & Reina-Alzate, J. (2020). Diseño de un sistema acuapónico monitoreado mediante internet de las cosas e inteligencia artificial. *Espacios*, 41(47), 56-73.
- Ruge, I. A. R., & Holguín, W. J. P. (2017). Diagnóstico tecnológico del uso de dispositivos programables en la industria boyacense. Caso de estudio: cadena agroindustrial de la panela. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 21(52), 130-147.
- Durán Cantillo, E. O. (2019). Análisis de la implementación del internet de las cosas en la agroindustria colombiana para optimizar y aumentar los procesos de producción.

- Moreano, H. A. B. (2024). Impacto de la digitalización en la eficiencia operativa de agricultores familiares: perspectiva para el desarrollo agrícola sostenible. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 6(2), 352-367.
- Klug, W. D., CARVALHO, C. R. D., & PEREIRA, A. S. (2023). O USO DE DRONES NA AGROINDÚSTRIA 4.0. *Revista Prociências*, 6(2), 97-113.
- Fu, X., & Niu, H. (2023). Key technologies and applications of agricultural energy internet for agricultural planting and fisheries industry. *Information Processing in Agriculture*, 10(3), 416-437.
- Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S. (2023). Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100