

**Análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca sativa  
(lechuga) en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible**

Cristian Andrés Ricaurte Rincón

Armando Aguilera Calderon

Asesor

Mario Andrés Ramos Goyes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2024

## **Dedicatoria**

Queremos dedicar esta monografía a todas las personas que, de una manera u otra, han sido parte fundamental en la realización de este trabajo y en nuestro desarrollo personal y académico.

En primer lugar, dedicamos este logro a nuestras familias, quienes han sido nuestro pilar a lo largo de esta etapa. A nuestros padres, que con su amor y apoyo incondicional nos han enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por las palabras de aliento, por estar ahí en los momentos más difíciles, y por siempre creer en nuestras capacidades. Sin ustedes, este sueño no habría sido posible.

También queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestros amigos. A esos compañeros de vida que han estado a nuestro lado, compartiendo risas, desvelos y momentos de estrés. Gracias por las conversaciones que nos ayudan a despejar la mente, por la compañía en las largas horas de estudio y por ser ese refugio de energía positiva cuando más lo necesitábamos. Vuestra amistad ha sido una fuente de inspiración y fuerza para seguir adelante.

A nuestros profesores, les extendemos una dedicatoria especial. Su guía, paciencia y sabiduría han sido fundamentales para la construcción de este trabajo. Gracias por transmitirnos no solo conocimientos, sino también valores que nos acompañarán a lo largo de nuestra vida profesional y personal. Cada lección impartida ha dejado una huella en nuestro camino, y es gracias a su dedicación que hoy podemos presentar este trabajo con orgullo.

Además, queremos dedicar esta monografía a nosotros mismos, por haber superado cada desafío que se presentó. El camino no fue fácil, pero con esfuerzo, dedicación y mucho trabajo en equipo, logramos alcanzar la meta. Este trabajo es el resultado de largas horas de

investigación, discusiones, redacción y revisiones. Es un reflejo de nuestro compromiso, de nuestra capacidad para trabajar en conjunto y de la pasión que sentimos por aprender y crecer.

No podemos dejar de mencionar a todas aquellas personas que, de manera indirecta, han influido en la realización de esta monografía. A los autores y académicos cuyas obras consultamos, a los compañeros de clase que compartieron sus ideas y opiniones, y a todos aquellos que, con sus palabras o acciones, nos motivan a seguir adelante.

Finalmente, dedicamos este trabajo al futuro. A los nuevos retos y oportunidades que nos esperan, y a todas las personas que formarán parte de nuestro camino. Esta monografía es solo el comienzo de una nueva etapa en nuestras vidas, y la dedicamos con la esperanza de que cada paso que demos en adelante esté lleno de aprendizaje, crecimiento y éxito.

## **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que nos apoyaron en esta monografía.

A nuestras familias principalmente, por su apoyo incondicional, sus ánimos, y buena energía que nos influyeron en avanzar a nuestras metas y superar todos los momentos difíciles, agradecer a nuestros compañeros que de una u otra forma nos apoyaron y nos brindaron una guía. A nuestro tutor, que sin él no hubiéramos adquirido la destreza y motivación que nos permitió terminar de forma exitosa esta Monografía, por su paciencia, su compromiso y su gran forma de enseñanza, le estamos muy agradecidos.

A nuestra universidad UNAD que nos brindó todo lo necesario para culminar esta monografía.

A todas aquellas personas que contribuyeron a esta monografía compartiendo sus puntos de vista y experiencias, gracias por compartir el conocimiento y permitirnos superar los distintos obstáculos presentados.

Gracias por ser parte de esta investigación.

## Resumen

El avance de la industria 4.0 y el IoT dentro del sector agrícola permite la interconexión de todo tipo de dispositivos y sensores permitiendo monitorear una amplia gama de variables agrícolas en tiempo real. Estos datos proporcionan un pilar fundamental en el desarrollo de la agricultura de precisión, permitiendo la toma de decisiones informadas y estratégicas basadas en la recolección de datos por medio de la tecnología IoT.

En este texto se realiza un análisis general a nivel internacional sobre el IoT aplicado en la agricultura, buscando los distintos usos y aplicaciones que se dan en los diversos escenarios expuestos por los desafíos, tanto climáticos como en el uso de recursos biológicos, y gastos económicos entre otros; donde se crea una nueva perspectiva del uso de la tecnología en los cultivos con el fin de tener información confiable que permite enfrentar un comparativo del mundo actual vs Colombia ante una agricultura inteligente y sostenible mediante el análisis de artículos científicos, publicaciones académicas especializadas, y artículos bibliográficos apoyados sobre las bases de datos con las que cuenta la universidad UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia), en un método de estudio analítico descriptivo, encontrando varios puntos de vista de distintos campos o áreas que se centran en el mismo objetivo.

En este trabajo se presentan los resultados de revisión de literatura que sirven como base de consulta para la selección de alternativas idóneas según la necesidad de campo dentro de la agricultura. En la primera parte de este documento se determinan las bases para el inicio de la investigación partiendo de la descripción del problema y su justificación tanto en los criterios y cadenas de búsqueda. En la segunda parte se realiza un estado del arte donde se clasifica la información de los resultados de revisión y se establecen títulos que agrupan información concreta con lo cual se establece un análisis de resultados agrupando todos los datos exponiendo puntos claves dentro del análisis. El tercer capítulo se enfoca en Colombia, en el

análisis de su situación actual en la automatización de agricultura abordando la comparativa de los estados actuales a nivel nacional e internacional, sus beneficios, desafíos y un punto clave como lo es, las perspectivas que se tienen frente a la implementación de IoT.

Por último, se presentan las conclusiones del trabajo enfocadas en los desafíos y beneficios que se presentan en la implementación de IoT en el área de la agricultura, se resaltan los puntos claves de la investigación, y su análisis dentro del campo de aplicación.

***Palabras Clave:*** Internet de las Cosas, IoT, Lechuga, Lactuca Sativa, ensaladas de verduras, lechuga.

## **Abstract**

The advancement of Industry 4.0 and IoT within the agricultural sector allows the interconnection of all types of devices and sensors, allowing the monitoring of a wide range of agricultural variables in real time. This data provides a fundamental pillar in the development of precision agriculture, allowing informed and strategic decision-making based on data collection through IoT technology.

In this text we carry out a general analysis at an international level on the IoT applied in agriculture, looking for the different uses and applications that occur in the various scenarios exposed by the challenges, both climatic and in the use of biological resources, and economic expenses, among others; where a new perspective of the use of technology in crops is created in order to have reliable information that allows to face a comparison of the current world vs Colombia in the face of intelligent and sustainable agriculture through the analysis of scientific articles, specialized academic publications, and bibliographic articles supported by the databases that UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia) has, in a descriptive analytical study method, finding several points of view from different fields or areas that focus on the same objective.

This work presents the results of the literature review that will serve as a consultation basis for the selection of suitable alternatives according to the field need within agriculture. In the first part of this document, the bases for the beginning of the research are determined based on the description of the problem and its justification both in the criteria and search chains. In the second part, a state of the art is carried out where the information from the review results is classified and titles are established that group specific information with which an analysis of results is established by grouping all the data exposing key points within the analysis. The third chapter focuses on Colombia, in the analysis of its current situation in agricultural

automation, addressing the comparison of the current states at national and international level, its benefits, challenges and a key point such as the perspectives that are held in front of the implementation of IoT.

Finally, the conclusions of the work are presented focused on the challenges and benefits that are presented in the implementation of IoT in the area of agriculture, the key points of the research are highlighted, and its analysis within the field of application.

***Keywords:*** Internet of Things, IoT, Lettuce, Lactuca Sativa, vegetable salads, lettuce.

## Tabla de Contenido

Justificación .....	16
Marco de Referencia .....	19
Marco Teórico .....	21
Protocolo .....	23
Definición de Criterios de Búsqueda.....	24
Cadena de Búsqueda.....	26
Interrogantes de Investigación.....	26
Resultados Etapas de Revisión.....	27
Estado del Arte .....	31
IoT aplicado en la agricultura.....	31
IoT en invernaderos .....	39
IoT aplicado en invernaderos de Lactuca sativa (Lechuga) .....	48
Análisis de Resultados .....	58
IoT y su aporte en el campo .....	58
Técnicas, implementaciones y tecnologías .....	62
Análisis De La Implementación De IoT En Colombia En Cultivos De Lechuga En Invernaderos	
Controlados.....	74
Contexto De La Agricultura En Colombia .....	74
Tecnología IoT En La Agricultura .....	75
Componentes Clave De IoT En Agricultura .....	75
Beneficios De IoT En La Agricultura De Colombia.....	76
Desafíos En La Implementación De IoT .....	80

Casos De Estudio Y Ejemplos.....	82
Perspectivas Futuras.....	84
Conclusiones.....	86
Referencias Bibliográficas .....	89

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Criterios de inclusión y exclusión</i> .....	25
<b>Tabla 2</b> <i>Representación de resultados con primer filtro</i> .....	28
<b>Tabla 3</b> <i>Resultados aplicando filtros</i> .....	29
<b>Tabla 4</b> <i>Tecnologías</i> .....	85

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Palabras Claves</i> .....	23
<b>Figura 2</b> <i>Pantallazo cadena de búsqueda IEEE</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Publicaciones por año</i> .....	30
<b>Figura 4</b> <i>Revisión y numeración de documentos</i> .....	59
<b>Figura 5</b> <i>Cantidad de estudios por país</i> .....	61
<b>Figura 6</b> <i>Mapa longitudinal realizado con SciMAT mapa superpuesto</i> .....	64
<b>Figura 7</b> <i>Documentos básicos-citas promedio e índice h</i> .....	65
<b>Figura 8</b> <i>Documentos básicos-contador de documentos</i> .....	67
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama estratégico primer periodo 2014-20216</i> .....	68
<b>Figura 10</b> <i>Agrupación de términos IoT del primer periodo</i> .....	69
<b>Figura 11</b> <i>Diagrama estratégico segundo periodo 2017-2019</i> .....	70
<b>Figura 12</b> <i>Documentos secundarios del segundo periodo</i> .....	70
<b>Figura 13</b> <i>Diagrama estratégico tercer periodo 2020-2023</i> .....	71
<b>Figura 14</b> <i>Conteo de documentos secundarios tercer periodo 2020-2023</i> .....	72
<b>Figura 15</b> <i>Agrupación de términos de IoT para el tercer periodo</i> .....	73
<b>Figura 16</b> <i>Agrupación de términos para machine learning (aprendizaje automático)</i> .....	73

## **Introducción**

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis exhaustivo del efecto de la implementación de la tecnología IoT en los cultivos de *Lactuca sativa* en invernaderos en un enfoque a nivel global, con el propósito de promover la agricultura sostenible. La tecnología IoT, o Internet de las cosas, se ha convertido en una herramienta fundamental en el campo de la agricultura, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y un monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales y de crecimiento de los cultivos. En este estudio, se examina cómo la implementación de esta tecnología en los cultivos de lechuga puede contribuir a mejorar la productividad, reducir el consumo de agua y fertilizantes, y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente. Además, se evalúan los desafíos y beneficios que implica la adopción de esta tecnología en los invernaderos de Colombia, considerando aspectos como la disponibilidad de infraestructura tecnológica y la capacitación de los agricultores. Mediante este análisis, se busca brindar información relevante y actualizada que contribuya a la toma de decisiones en el sector agrícola y fomente prácticas sostenibles para el cultivo de lechuga en invernaderos en Colombia

## Descripción del Problema

### Planteamiento del Problema

Colombia es un país megadiverso, que por sus condiciones climáticas y geográficas es óptimo para el cultivo de diversas plantas de importancia agrícola, pero los cambios climáticos en Colombia, caracterizados por variaciones en temporadas de lluvia y sequías, son un desafío crítico para el sector agrícola. Estos cambios climáticos tienen un impacto directo en la salud y la producción de los cultivos, lo que afecta negativamente a agricultores, cultivadores y pequeñas empresas que operan en diversos entornos, como zonas rurales, fincas y especialmente invernaderos de cultivos específicos. (Bohórquez & Otero, 2024)

Debido a los cambios climáticos en Colombia y la falta de tecnificación y aplicación de tecnologías emergentes de la industria 4.0, se dan desafíos y problemas en el proceso de cultivos dentro de invernaderos o en campos abiertos, donde se harán evidentes las proliferaciones de plagas y hongos por la sequía y la baja humedad asociadas a las temporadas secas. (Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 1983)

Bien se sabe que las condiciones extremas antes mencionadas son pie para la propagación de enfermedades en las raíces y hojas de las plantas resultando en pérdidas de calidad y producción. Con estas problemáticas no solo los agricultores se ven afectados, sino, por el contrario, hay una afectación negativa en la disponibilidad de los alimentos y la seguridad alimentaria.

Existe el estrés en las plantas causado por el exceso de temperatura (cambios climáticos). Las altas temperaturas pueden afectar negativamente el crecimiento y la calidad de los cultivos, lo que reduce su valor comercial y su capacidad de satisfacer las demandas del mercado. En casos extremos, el estrés térmico puede conducir a la muerte total del cultivo, lo que resulta en pérdidas económicas significativas para los agricultores.

Colombia (Chaves-Barrantes et al., 2016), con su diversidad climática que abarca desde zonas tropicales hasta regiones frías y secas, presenta desafíos adicionales. Los agricultores deben adaptarse a los cambios climáticos y crear refugios o zonas controladas artificialmente para proteger sus cultivos y garantizar su supervivencia y producción (Invernaderos). Esto implica inversiones significativas en tecnología y prácticas agrícolas más resistentes a la variabilidad climática.

Teniendo en cuenta esta información, la problemática surge de los cambios climáticos, sus efectos en los cultivos e invernaderos en Colombia abarcan consecuencias desde la proliferación de plagas y enfermedades hasta el estrés térmico en las plantas. Estos desafíos representan una amenaza para la seguridad alimentaria y la rentabilidad de los agricultores, y requieren soluciones innovadoras, tecnológicas y prácticas para mitigar sus impactos y fortalecer la capacidad de adaptación del sector agrícola en el país.

## Justificación

El sector agrícola de Colombia es sólido y se apoya en una serie de factores que resaltan la importancia de esta iniciativa. Colombia, con su diversidad geográfica y climática, enfrenta desafíos únicos en la agricultura que pueden abordarse de manera efectiva mediante la incorporación de IoT en las operaciones agrícolas.

La adopción de IoT tiene el potencial de aumentar significativamente la productividad agrícola. Los sensores y dispositivos conectados permiten una monitorización en tiempo real de condiciones críticas como la humedad del suelo, la temperatura y la calidad del aire. Esta información proporciona a los agricultores datos precisos para tomar decisiones informadas sobre la gestión de sus cultivos. Optimizar el riego, la fertilización y otros aspectos de la producción se traduce en cosechas más abundantes y de mayor calidad (Sharma, N., Shamkuwar, M., & Singh, I., 2019)

Además de mejorar la productividad, IoT en la agricultura puede llevar a una gestión más eficiente de los recursos naturales. En un país con variabilidad climática como Colombia, la monitorización precisa puede adaptar el uso de recursos, como agua y fertilizantes, a las necesidades específicas de cada área. Esto no solo ahorra costos, sino que también contribuye a la conservación de recursos valiosos y a la sostenibilidad ambiental. (Lewis, 1985; Ashton, 1999)

La mitigación de riesgos climáticos es otra ventaja importante. Colombia es propensa a eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones, que pueden tener un impacto devastador en la agricultura. Las tecnologías IoT permiten a los agricultores anticipar y responder a estos eventos de manera más efectiva. Desde la protección de cultivos en invernaderos controlados hasta la toma de decisiones basada en datos sobre la gestión de

cosechas, IoT ayuda a minimizar las pérdidas causadas por condiciones climáticas adversas. (Lewis, 1985; Ashton, 1999).

La calidad de los productos agrícolas también puede mejorar significativamente mediante IoT. La monitorización precisa y la gestión de las condiciones ambientales en los cultivos garantizan que los productos sean de alta calidad y cumplan con los estándares de mercado. Esto no solo satisface las demandas de los consumidores, sino que también puede resultar en mejores precios para los agricultores y un acceso más amplio a mercados nacionales e internacionales. (Lewis, 1985; Ashton, 1999).

IoT en la agricultura respalda la toma de decisiones estratégicas. Proporciona a los agricultores datos detallados y análisis en tiempo real que pueden utilizarse para planificar cultivos, gestionar la cadena de suministro y seleccionar prácticas agrícolas óptimas. Esto optimiza la eficiencia operativa y mejora la rentabilidad. (Chanchí-Golondrino et al., 2022)

Además de los beneficios económicos, la adopción de tecnologías IoT promueve la sostenibilidad en la agricultura (Pérez-Ortega et al., 2021). La gestión eficiente de recursos naturales y la minimización del impacto ambiental son esenciales para preservar el medio ambiente y garantizar la disponibilidad de recursos para futuras generaciones.

En última instancia, la implementación de IoT en la agricultura colombiana no solo impulsa la productividad y la rentabilidad de los agricultores, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria, la sostenibilidad y el acceso a mercados internacionales. (Orozco & Llano Ramírez, 2016) Estos factores hacen que la adopción de tecnologías IoT en el sector agrícola sea una inversión estratégica y necesaria para el futuro de la agricultura en Colombia.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar el efecto generado en la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca Sativa de invernadero a nivel internacional y en Colombia para la promoción de la agricultura sostenible.

### **Objetivo Específico**

Realizar una búsqueda sistemática de documentos como artículos científicos y artículos bibliográficos de sistemas IoT orientados al campo agrícola.

Identificar los principales desafíos en la implementación de tecnologías IoT en cultivo de Lactuca Sativa a nivel invernaderos.

Evaluar el impacto que puede tener la implementación del IoT en cultivos Lactuca Sativa a nivel invernadero en Colombia.

## Marco de Referencia

### Agricultura

Conjunto de actividades económicas que están relacionadas con el cultivo de la tierra y el tratamiento del suelo fértil para la producción de alimentos. Esto comprende toda acción y técnicas humanas que se enfocan a la extracción de alimento del entorno natural. La persona dedicada a esta actividad se le puede llamar agricultor, entre las actividades y técnicas que realiza están: labrar la tierra, echar fertilizantes, recoger cosecha. A medida del avance en los años y en la industria, estos agricultores en algunas ocasiones cuentan con máquinas que realizan el trabajo que antes ellos hacían. Por lo tanto, esta actividad económica fue una de las primeras en las sociedades, siendo un sector predominante frente a las otras economías. (Francisco Coll Morales, 2021).

### Telemetría

Tecnología que permite medición y control remoto de las distintas variables físicas y químicas según la disposición, estos datos tomados de las variables son transferidos a una central de control. Esta tecnología facilita la monitorización a distancia de procesos o equipos y a su vez él envió de alertas o alarmas a un centro de control o plataforma HMI.

El envío de toda información recogida hacia el operador se realiza comúnmente por comunicación inalámbrica u otros medios (teléfonos, redes de computadoras, enlaces de fibra óptica, entre otros). Los sistemas de telemetría reciben los datos e instrucciones necesarios para operar desde un centro de control o una interfaz HMI.

(Zhang, Y., Li, & Wang, 2020).

## **Agricultura de Precisión**

El internet de las cosas en la agricultura de precisión (AP) contribuye en la optimización del proceso de cultivo en la tierra en todos sus aspectos mediante el monitoreo, el almacenamiento de datos y la evaluación automatizada siendo de gran uso y viabilidad en el mejoramiento de los cultivos. A partir de la IOT se obtienen resultados: características y condiciones del suelo, composición química, humedad, temperatura, entre otras variables físicas, donde se puede hacer un trazo de cultivo buscando el mejor resultado posible, a su vez se definen los riesgos presentes y visualización en tiempo real del cultivo con una interfaz HMI. (Sharma, N., Shamkuwar, M., & Singh, I., 2019)

## **Internet de las Cosas (IoT)**

El Internet de las Cosas (IoT) es un paradigma tecnológico que se refiere a la interconexión de dispositivos físicos, objetos y sistemas a través de internet, permitiéndoles recopilar y compartir datos en tiempo real. Estos dispositivos, equipados con sensores y actuadores, pueden comunicarse entre sí y con sistemas de gestión centralizados para mejorar la toma de decisiones y automatizar procesos. (Evans, 2011).

## **Marco Teórico**

### **Invernaderos Hidropónicos**

El sistema hidropónico permite el cultivo de plantas sin tierra. En la historia muchos creen que empezó en la antigua Babilonia, en los jardines colgantes conocidos como una de las 7 maravillas del mundo antiguo. (Beltrano & Giménez, 2015).

López Elías (2018) nos comparte su punto de vista en el cual afirma que la hidroponía es la técnica de cultivos en la cual no se requiere suelo, este es reemplazado por agua con los nutrientes minerales esenciales disueltos en ella. Esta solución nutritiva es la más importante en esta técnica ya que esta constituye el éxito del cultivo hidropónico.

Hablando directamente del origen de la palabra esta se deriva del griego “Hydro” (agua) y “Ponos” (labor o trabajo). Para términos prácticos, llamaremos hidroponía a lo referente a la agricultura sin suelo, un método para cultivar plantas utilizando disoluciones minerales. (Zárate Aquino, 2014).

En México podemos observar que este sistema de cultivo ha dado grandes pasos generando 3 técnicas principales de cultivo.

### **NFT (Nutrient film Technique) traducción en español (Técnica de película nutritiva)**

Permite el cultivo hortalizas en tubos redondos o cuadrados de PVC, se utiliza agua con nutrientes sin ningún tipo de sustrato. la planta dispone directamente de los minerales que necesita para su crecimiento.

### **Raíz Flotante**

Permite cultivar hortalizas en cajones de madera o plástico, sobre una placa de unicel que flota en agua con nutrientes, facilitando el manejo y el espacio del que se dispone.

## **En Sustrato**

Es de las más utilizadas para cultivar hortalizas como los jitomates, ya que por el tamaño no se pueden cultivar en las técnicas antes mencionadas; permite utilizar sustratos como tezontle, agrolita, peat moss, vermiculita, entre otros. (Zárate Aquino, 2014).

Según José Beltrano (2015), la hidroponía se constituye de diferentes técnicas las cuales permiten el cultivo de plantas libre del medio del suelo. Esta permite ya sea en estructuras simples o complejas el cultivo y producción de plantas principalmente del tipo herbáceo. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes.

## Protocolo

Con el fin de realizar esta monografía en relacionada con el análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca sativa (lechuga) en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible, se desarrolla una revisión sistemática donde el principal motor de búsqueda usado es IEEE Xplore cuyo objetivo es realizar una búsqueda por cadenas de búsqueda basadas en palabras claves en el área de investigación. Como ejemplo la ilustración (1) con el fin de organizar las ideas y mejorar la precisión de búsqueda se observan algunas de las palabras recurrentes en el área de interés (Yang et al., 2013).

**FIGURA 1**

*Palabras Claves*



*Fuente.* Elaboración propia

Partiendo de una búsqueda preliminar con varios motores de búsqueda, se decide trabajar con IEEE Xplore. Esta plataforma (Motor de búsqueda) nos presenta una gran

cantidad de fuentes confiables, contenido de calidad y gran variedad de artículos y revistas científicos. Hemos realizado pruebas con otros motores de búsqueda como Scielo, Google Académico y repositorio institucional UNAD donde se realizan comparaciones de información relevante lo que nos permitió tener una visión más amplia de la información dispuesta respecto a nuestro tema de investigación afirmando nuestra elección de motor principal de búsqueda de base de datos científicos. Basados en nuestra necesidad de información sobre la tecnología IoT , su efecto de implementación, invernaderos en Colombia, agricultura sostenible y el producto de cultivo, se logra crear una búsqueda preliminar permitiendo sentar la base de metodología y/o protocolo de investigación que nos brindó la oportunidad de definir palabras claves con los cuales se realizaron filtros de precisión según su año de publicación, números de referencias bibliográficas, número de veces citados, título y abstract más pertinentes para la investigación (Yang et al., 2013).

### **Definición de Criterios de Búsqueda**

Partiendo de los resultados obtenidos en la búsqueda, se han establecido dos tipos de criterios, criterio de inclusión y criterio de exclusión como se muestra en la tabla (1) con el fin de elegir los artículos y/o revistas científicas más relevantes dentro la de revisión bibliográfica sistematizada se resaltan puntos como la agricultura sostenible, cultivos IoT, y cultivos de Lactuca Sativa.

**TABLA 1***Criterios de inclusión y exclusión*

Criterio de inclusión		Criterio de exclusión	
CI.1	Conferences and journals (artículos y conferencias.)	CE.1	Se excluyen libros, revistas no científicas, cursos, documentos anticipados, normas.
CI.2	Artículos y conferencias con información relevante de agricultura sostenible, cultivos IoT y cultivos IoT de Lactuca Sativa.	CE.2	Se excluyen artículos y conferencias que tengan menos de 10 referencias bibliográficas.
CI.3	Los resultados obtenidos estarán dentro del contexto de las palabras claves.	CE.3	Se excluyen artículos y conferencias que tengan 0 citas bibliográficas y que sean menores al año 2020 hacia tras con el fin de obtener documentación confiable y actualizada.
CI.4	Los documentos deben contar con los términos representados dentro de la cadena de búsqueda generada.	CE.4	Todo artículo y conferencia mayor a 10 años no será tenido en cuenta dentro de la investigación. (2014 y anteriores)

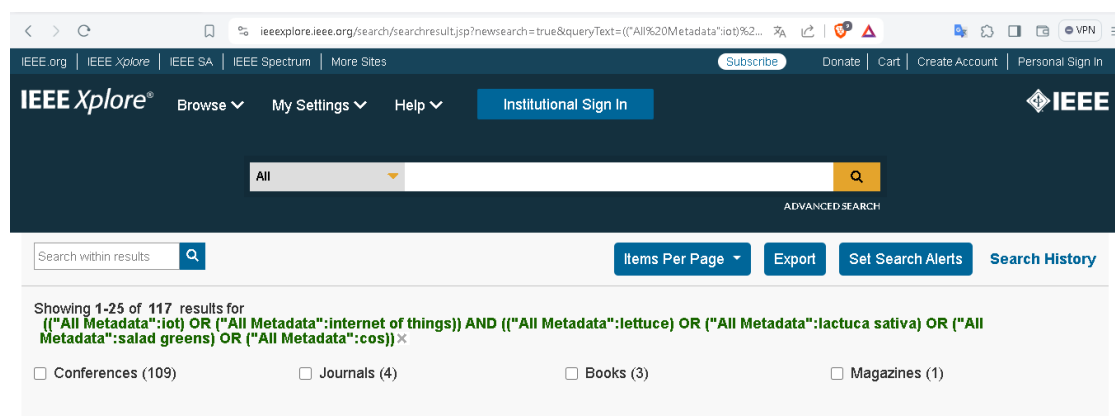
*Nota.* Se establecen todos los criterios que se usaron en la investigación. *Fuente.* Elaboración propia

## Cadena de Búsqueda

Para identificar los artículos relevantes y pertinentes en nuestra investigación, se diseñó una cadena de búsqueda que comprende las diferentes palabras claves seleccionadas tras varias pruebas y búsquedas que encontraron los trabajos relacionados con el objetivo de la investigación. Teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente en la tabla (1), se observa la ilustración (2) con la implementación de la cadena de búsqueda y el filtro principal aplicado dentro de la base de datos IEEE Xplore donde más adelante se podrá evidenciar más a detalle esta información presentada en distintas tablas.

### FIGURA 2

*Pantallazo cadena de búsqueda IEEE*



*Fuente.* Elaboración propia

## Interrogantes de Investigación

El estudio se enfoca en responder las siguientes interrogantes

¿Cuál es el efecto generado en los cultivos de *Lactuca sativa* con la implementación IoT frente a la agricultura clásica?

¿Cuáles son los principales desafíos en la implementación de tecnologías IoT en los cultivos agrícolas más principalmente con la *Lactuca sativa*?

¿Cuáles son los impactos que puede tener en la implementación del IoT en cultivos Lactuca Sativa a nivel invernadero?

Con cada uno de estos interrogantes, funcionando también como objetivos, permitirán conocer la realidad actual de las tecnologías IoT frente a los cultivos o también conocido como la agricultura sostenible dentro del rango de cultivos controlados de Lactuca sativa generando nuevas tendencias e ideas innovadoras, reafirmando la capacidad de esta solución frente a la problemática que enfrentan los cultivos. Se logran identificar sus principales fuertes y debilidades permitiendo realizar un trabajo controlado beneficiando no solamente el cultivo principal de investigación, si no, abriendo camino a otras variables dentro del campo en investigación. Teniendo en cuenta todos aquellos desafíos que se presentan se busca identificar todas aquellas soluciones que permitan el mejoramiento del trabajo dentro del campo de la agricultura en Colombia.

### **Resultados Etapas de Revisión**

En este punto se busca dar un resumen de las búsquedas realizadas preliminarmente junto a los filtros realizados según nuestros criterios de inclusión y exclusión con el análisis de los documentos seleccionados. El objetivo de estos pasos fue el asegurar información de confianza siendo estas las que nos garantiza es desglose correcto de toda información dando respuestas concretas y fiables a nuestros interrogantes dentro de la monografía.

#### ***Filtro 1***

En esta etapa se eliminan los artículos no representativos dando solo prioridad a los artículos y conferencias. En esta búsqueda se encontraron 117 documentos según la cadena de búsqueda implementada en IEEE Xplore con la cual se redujo a solo 113 documentos como se muestra en la tabla (2).

**TABLA 2***Representación de resultados con primer filtro*

Fuente y documento	Resultados	Criterio de inclusión
IEEE Xplore (Conferences)	109	109
IEEE Xplore (Journals)	4	4
IEEE Xplore (Books)	3	0
IEEE Xplore (Magazines)	1	0
	Total	113

*Nota.* Resultados usando el primer filtro. *Fuente.* Elaboración propia

### ***Filtro 2***

En este segundo filtro se excluyeron los artículos y conferencias que tenían menos de 10 referencias bibliográficas considerando que tuviera un peso en información relevante y veras donde podemos realizar un rastreo de aquellas figuras representativas dentro del documento, presentando una reducción de 113 a 97 documentos.

### ***Filtro 3***

Se excluyen artículos y conferencias donde su número de citas es igual a cero y que a su vez eran documentos del año 2020 hacia atrás indicando posiblemente que estos no contengan información relevante reduciendo la lista de 97 a 89 documentos.

### ***Filtro 4***

En el cuarto filtro se buscan y se eligen solo los documentos representativos a la agricultura sostenible, cultivos IoT, y cultivos de Lactuca Sativa, este se realiza con la comprensión de sus títulos y abstract asegurando que la información contenida sea favorable a nuestra monografía reduciendo la lista de 89 a 51 documentos.

### **Filtro 5**

Este último filtro permite excluir toda conferencia y artículo de mayor a 10 años de publicación, para abordar la información más reciente y actualizada.

En conclusión, al haber aplicado estos distintos filtros con la cadena de búsqueda previamente valida se logra obtener una serie de estudios confiables y asociados a una investigación con un total de 51 documentos respecto a los 117 documentos encontrados con el motor de búsqueda IEEE Xplore. Con esta sólida base de datos encontrada y analizada se respalda la información relevante dentro de los análisis realizados en la monografía. El resumen de estos filtros en la documentación encontrada se representa en la tabla (3).

**TABLA 3**

*Resultados aplicando filtros*

Base de datos	Documentos	Resultado	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5
IEEE Xplore	Conferencias y artículos	117	113	97	90	51	51
Total							51

*Nota.* Tabla representativa de los resultados según los filtros. *Fuente.* Elaboración propia

Después de esta revisión documental se logró identificar su distribución por años organizando cronológicamente la información encontrada según su año de publicación, encontrado que la menor documentación encontrada fue en el año 2014 y sus mayores publicaciones fueron en el transcurso del año 2022 y 2023 donde podemos concluir que fueron los años donde más toma fuerza la iniciativa de la implementación del IoT en los cultivos y /o campos distintos. Demostrado estos puntos se logra evidenciar en la ilustración (3) la vigencia del tema de investigación con un crecimiento en la publicación en los últimos años

**FIGURA 3***Publicaciones por año**Fuente. Autoría propia*

## **Estado del Arte**

Dentro del análisis y la investigación que se realiza se logra identificar 3 categorías: IoT aplicado en la agricultura, IoT en invernaderos, y por ultimo IoT aplicado en invernaderos de Lactuca sativa (Lechuga) los cuales fueron relevantes frente al tema de “análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca sativa (lechuga) en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible” a partir de la revisión de los últimos 10 años presentados se identifican las siguientes categorías:

### **IoT aplicado en la agricultura**

Dentro del análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca sativa (lechuga) en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible se encuentran distintas bases las cuales representan distintos puntos de vista, aplicaciones empleadas y metodologías con el uso del internet de las cosas, La integración del Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura de invernadero, específicamente en el cultivo de Lactuca sativa (lechuga) en Colombia, ha sido influenciada por las investigaciones de Sehgal, Patrick y Rajpoot (2014) sobre tecnologías interrelacionadas como la nube ciber física (CPC), la nube de sensores (CoS) y el propio IoT. Estos sistemas utilizan sensores y almacenamiento en la nube para monitorear y optimizar el ambiente de crecimiento, mejorando el uso de recursos y la sostenibilidad. A pesar de los desafíos como la alta inversión inicial y la necesidad de formación, en los invernaderos donde se implementa la tecnología IoT en cultivos de Lactuca sativa (lechuga) en Colombia para promover la agricultura sostenible, se concluye que esta tecnología promete revolucionar la productividad agrícola y fomentar prácticas sostenibles en la región.

Tan, Chong, Niswar, Ooi y Basuki (2020) exploran la adopción de tecnologías avanzadas como IoT y big data para automatizar y optimizar la agricultura urbana. Proponen una plataforma IoT que permite a los agricultores monitorear el ambiente de cultivo y ajustar

automáticamente los nutrientes sin intervención humana. Utilizando sensores para medir pH, sólidos disueltos totales (TDS), potencial de reducción de oxidación (ORP) y temperatura, la plataforma ajusta la concentración de soluciones nutritivas para mantener condiciones óptimas. Además, el crecimiento de las plantas se monitorea mediante cámaras, y los datos son transmitidos usando WiFi y el protocolo MQTT a un servidor en la nube. Esta integración facilita a los usuarios el acceso remoto y en tiempo real a la información de la granja urbana a través de aplicaciones web y móviles, destacando un avance significativo hacia prácticas agrícolas más eficientes y accesibles

En la investigación sobre la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca sativa en invernaderos en Colombia, el trabajo de Friuli, Masciullo, Blasi, Mita, Corbari y Surano (2021) introducen una perspectiva avanzada para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la acuaponía mediante la integración de tecnologías de la Era 4.0. Su sistema acuapónico 4.0 incorpora innovadoras tecnologías como la reflectometría de microondas para el monitoreo preciso de la calidad del agua reciclada y el uso de hidrogel superabsorbente para optimizar la retención y liberación de nutrientes. Además, la adopción de Internet de las Cosas (IoT) permite la automatización y el monitoreo remoto del sistema, brindando a los agricultores un control más preciso y eficiente sobre los procesos acuapónicos. Este enfoque no solo aborda los desafíos de mantenimiento y control asociados con la acuaponía convencional, sino que también ofrece una mayor productividad y sostenibilidad ambiental. La implementación exitosa de este prototipo de sistema acuapónico 4.0 resalta un paso significativo hacia la agricultura del futuro, donde la tecnología desempeña un papel crucial en la optimización de los recursos y la mejora de la seguridad alimentaria. Este trabajo proporciona una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la acuaponía y la agricultura sostenible, reflejando la visión de un futuro agrícola innovador y sostenible.

Singhal, Ahuja y Pathak (2021) exploran el creciente papel de la Inteligencia Artificial (IA) en la agricultura. Este estudio destaca cómo la IA está siendo aplicada en diversos aspectos agrícolas, desde la optimización de cultivos hasta la gestión de recursos, enfrentando desafíos como la escasez de recursos y los cambios climáticos. La investigación se centra en casos de uso donde la IA se emplea para predecir rendimientos de cultivos, optimizar el riego y la fertilización, y automatizar tareas agrícolas. Estos avances buscan proporcionar herramientas más efectivas y eficientes para mejorar las prácticas agrícolas y aumentar la productividad. El documento enfatiza la importancia de la colaboración entre investigadores, empresas y agricultores para adaptar estas tecnologías a las necesidades específicas de cada región y tipo de cultivo, así como la necesidad de políticas que impulsen la adopción de tecnologías de IA en la agricultura, garantizando un futuro sostenible y productivo para el sector agrícola a nivel global.

Kaur, Upadhyaya y Chawla (2022) abordan los desafíos de disponibilidad de tierras agrícolas mediante la exploración de nuevas técnicas como la agricultura vertical. En su estudio, proponen una aplicación móvil basada en IoT para controlar el crecimiento de plantas en agricultura vertical hidropónica, adaptando la tecnología a la producción de *Lactuca sativa* en invernaderos colombianos. Los sensores registran diversas variables ambientales para monitorear las condiciones dentro de los invernaderos, transmitiendo datos a la nube para su análisis. Utilizando el sistema Tashi Home Pindfresh para la configuración y Arduino con Raspberry Pi como controladores principales, este enfoque integrado ofrece soluciones prometedoras para la agricultura sostenible y eficiente.

Abbasi, Martínez y Ahmad (2022) representa un ejemplo claro del uso de IoT donde desarrolla un tablero de adquisición de datos y monitoreo basado en la nube para un sistema acuapónico implicando el uso de varios módulos de sensores inalámbricos y cámaras

cargando información de forma inalámbrica en un tablero de control en la nube proporcionando información en tiempo real.

Con base en (Abbasi, Martínez y Ahmad (2022), la arquitectura que se incluye en la implementación (percepción, red y aplicación) da como resultados el desarrollo de un tablero de control en la nube el cual permite la recopilación y visualización de datos en tiempo real en una instalación de acuaponía dando así la implementación del IoT .

Así mismo, Suebsombut, Chernbumroong, Sureephong, Bouras y Sekhari (2022) presentan el estudio de una aplicación de un chatbot cuyo fin es el de apoyar la agricultura inteligente en Tailandia con el objetivo principal de proporcionar recomendaciones y conocimiento propio de los cultivos a los agricultores, donde en la medida del IoT esta aplicación maneja instrucciones y datos en tiempo real así mismo como un anexo a preguntas sobre cultivos abordando la adopción de esta nueva tecnología por parte de los agricultores tailandeses demostrando resultados donde se reconoce la importancia de una aplicación flexible que permita la recolección en tiempo real de variables y la accesibilidad a información sobre cultivos planificados. Un claro ejemplo fue la implementación de dicha aplicación en Chiang Mai frente a cultivos de lechuga dando una puntuación de satisfacción por los agricultores de un 96%.

Niranjan y Gudur (2022) desarrollan un sistema innovador de monitoreo inteligente de acuaponía basado en el IoT mediante el uso de un Atmega 328p y ESP8266 (la acuaponía combina la hidroponía y la acuicultura) El sistema que se desarrolla permite monitorear parámetros claves como la temperatura, humedad, luz, pH, concentración de nutrientes, donde destacan la reducción de gasto de recursos y un aumento en la eficiencia de crecimiento del cultivo. Este sistema se controla y monitorea a través de una aplicación Blynk permitiendo que usuarios puedan supervisar y controlar de manera remota sus cultivos. Su estudio obtiene

un enfoque detallado en el desarrollo e implementación del sistema de acuaponía destacando sus beneficios como la reducción de gastos, reducción de mano de obra, enfatizando el potencial de la tecnología IoT en el monitoreo y control del sistema de forma remota. Asegurando un sistema autosuficiente en casos de cortes de energía mediante una batería de respaldo.

De manera similar, Sovilj, Fonović, Hager y Kovaček (2022) desarrollan un sistema llamado “Food computer” con el fin de tener cultivos en ambientes controlados replicando el ambiente y las condiciones necesarias mediante el uso de IoT en el sistema, dentro de la construcción de este sistema automatizado se controla el clima, la energía y el crecimiento de las plantas dentro de una cámara de cultivo aislado, entre sus variables monitoreadas se puede medir la temperatura del aire, humedad, pH, conductividad eléctrica, temperatura en raíces, niveles de dióxido de carbono entre otros. Todo esto se construye mediante código abierto desde la plataforma OpenAG desarrollada por el MIT como base. Para poder contemplar todas las funciones del sistema se desarrollan “recetas climáticas” las cuales definen los parámetros ideales de los cultivos, su software incluye un sistema operativo Raspbian en raspberry pi, con un sistema robótico ROS, una base de datos NoSQL CouchDB y tecnologías web. Después del desarrollo y la implementación probada con éxito en un cultivo hidropónico demuestra que este puede ser llevado a la rama de la educación STEM y la investigación de IoT siendo un sistema de costo asequible para la educación.

Por su parte, Nikolov y Shterev (2022) proponen un modelo básico de agricultura 3D con el fin de automatizar cultivos de lechugas. Este desarrollo lo hicieron posible mediante tecnología de raspberry pi y distintos sensores de variables como humedad, luz, temperatura, entre otros. Estos distintos sensores digitales y analógicos junto a actuadores y bombas de riego permitieron la implementación y el desarrollo de un sistema embebido aplicando la lógica de control, donde mediante el protocolo MQTT se envían los datos recolectados en

tiempo real a la nube de IoT. Esta propuesta concluyo en el desarrollo de un sistema automatizado de control y monitoreo mediante IoT.

Otro ejemplo claro lo da Pandrea, Ciocoiu y Machedon-Pisu (2023), donde se desarrolla un sistema de riego móvil e inteligente basado en IoT para la agricultura 5.0 , para esto implementan un sistema de riego de bajo costo que incorpora módulos como el NodeMCU con el ESP8266, relés, válvulas solenoides, y sensores de precisión con el fin de dar una solución efectiva en el uso de recursos , los datos obtenidos era enviados en tiempo real para sus posterior análisis y mediante una aplicación móvil se permite el control y el monitoreo a través de WIFI. Todo esto lo hicieron mediante subsistemas de control y un sistema principal de control con el NodeMCU que permite la conexión a internet y él envió de los datos de los sensores a una base de datos de Google firebase. La aplicación se crea mediante app inventor en la cual se podía visualizar y controlar el sistema manualmente, logrando así completar sus resultados de un sistema de riego móvil basado en IoT donde se demuestra el control de gestión sobre las variables reduciendo consumos y proporcionando una alternativa económica viable para aquellos agricultores que buscan optimizar sus procesos de riego.

Kondaka, Jaiswal, Iyer y Ali (2023) implementan un cultivo hidropónico inteligente basado en aprendizaje automático (Machine learning) donde aplican un sistema hibrido combinando técnicas de cultivo profundo en agua (DWC siglas en ingles) y técnica de película nutritiva (NFT siglas en ingles). Realizan el uso de IoT como Raspberry Pi y varios sensores y módulos que permitieron monitorear y controlar parámetros ambientales. Crean un modelo de regresión de Random Forest mediante el uso de aprendizaje automático alcanzando una precisión alta en los resultados, este modelo predictivo se integró en una aplicación web desarrollada en Flask, el cual le permite al usuario escoger que planta desea

cultivar, monitorear y controlar todas las variables presentes demostrando su funcionamiento capaz, prediciendo y manteniendo los niveles óptimos dentro de los cultivos.

Pai, Mahesh, Kumar, Agarwal, Abhinav y Guruprasad (2023) proponen un sistema inteligente de control de hidro cultura mediante el uso de computación difusa (Fuzzy computing), estos monitoreaban y controlaban de forma automática los niveles de las distintas variables medidas mediante sensores y placas. Con esto se construye una base de conocimiento difusa relacionando las entradas de los sensores con instrucciones a realizar mediante el control automático. Los resultados obtenidos en base al sistema hidropónico automatizado mediante un control inteligente de recursos y variables propuesto son asertivos mejorando los cultivos, en este caso el cultivo de lechuga, donde se evidencia en ancho de hojas y altura de planta mejora en el crecimiento comparado con el método tradicional.

Siguiendo el tema , Sandhu, Islam, Bharti, Pachouri y Arora (2023) desarrollan un sistema de monitoreo inteligente para casas de cultivos (polyhouses) y/o invernaderos mediante el uso del internet de las cosas (IoT), el uso de sensores de variables climáticas, un microcontrolador NodeMCUESP32 que permite el procesamiento de las señales de los sensores, logran implementar un control preestablecido para la humedad del suelo para cuando esta alcance un umbral específico instrucciones de activación y desactivación serán enviadas a un motor de riego. También, exploran el uso de inteligencia artificial mediante Makesense AI y YOLOv5 para detectar hojas sanas y enfermas con la intención de detectar enfermedades en las plantas, desarrollando un sistema de IoT de monitoreo y control automatizado de las condiciones ambientales dentro de un cultivo controlado mejorando la productividad y sostenibilidad de los cultivos.

Por otro lado, Dutta y Gupta (2023) desarrollan un análisis profundo sobre el uso de internet de las cosas verde (G-IoT) frente a la agricultura vertical inteligente y sostenible.

Explican el concepto de G-IoT y su ciclo de vida, analizando sus distintas dimensiones aplicables como la agricultura inteligente, de precisión, automatización de invernaderos y monitoreo de varios campos. Se incluyeron gráficos de producción, mapas temáticos, mapas de árbol entre otros. Analizan y explican los distintos tipos de agricultura vertical como la aeropónica, hidropónica, y acuapónica y como le G-IoT podía aportar en estos sistemas. Además, realizan una revisión bibliográfica existentes sobre sistemas IoT y la agricultura vertical, analizando los consumos de energía del IoT y como el G-IoT puede mejorar y optimizar con nuevos diseños eficientes, se discutieron los desafíos presentes y sus direcciones futuras de investigación con el fin de comprender todos los requisitos para el uso de IoT, sus modelos de consumo de energía, y diseños que puedan suplir las necesidades dentro de los campos de estudio. En este estudio se puede concluir que la tecnología G-IoT promueve la sostenibilidad ambiental y agrícola reduciendo el consumo de energías y emisiones en sistemas de agricultura vertical basados en IoT.

Venkatraman y Surendran (2023) desarrollan una investigación analizando los puntos principales de un sistema de acuaponía inteligente con aprendizaje automático, describieron los básicos de la acuaponía (acuacultura e hidroponía) que permite cultivar peces y plantas en un mismo habitat. Destacan la importancia de monitorear y automatizar los distintos parámetros de calidad (temperatura, humedad, pH, entre otros.) que lleven a un funcionamiento óptimo del sistema. Para lograr obtener los datos de estos parámetros propusieron el uso de distintos sensores de IoT logrando aplicar técnicas de autoaprendizaje optimizando el control predictivo del sistema. Por otro lado, mediante la investigación surgieron las redes neuronales recurrentes (RNN) usadas para producir eventos futuros mediante los datos suministrados por los sensores permitiendo realizar ajustes en consecuencia mediante la automatización IoT. Realizan una revisión exhaustiva de tecnologías existentes de sistemas acuapónicos inteligentes e integraciones IoT identificando

sus distintos beneficios, plantean las limitaciones actuales de los sistemas acuapónicos como sus altos costos iniciales y la necesidad de experiencia, se analizan los resultados demostrando la capacidad de implementación y el aprendizaje automático permitiendo optimizar todos los parámetros acuapónicos concluyendo así un enfoque en sistemas acuapónicos inteligentes impulsados por IoT y aprendizaje automático para cultivos más eficientes.

Y, por último, de esta primera categoría, Bernardo (2023) diseña un sistema de iluminación inteligente solar basado en un sistema de inteligencia artificial (IA) para cultivos hidropónicos de lechugas en interiores aplicando distintos tratamientos de iluminación y monitoreando semanalmente su crecimiento. Para este desarrollo utilizan un controlador lógico difuso que les permitió simular y controlar los niveles de intensidad de iluminación led necesarios según las etapas de crecimiento del cultivo. Su implementación hizo uso de placas Arduino con sensores LDR y leds, se recopilan datos y condiciones del cultivo mediante diferentes modelos de IA. Como resultado se dio la creación de un sistema de iluminación LED (iluminación artificial) automatizado que ajusta la intensidad lumínica según las etapas y la necesidad de los cultivos (cultivos de lechuga) usando la energía solar y la hidroponía resaltando los modelos de IA que muestran un alto coeficiente para predecir DLI (integral diaria de luz) y PPF (Densidad de flujo de fotones fotosintéticos) óptimos. Se demostró que el sistema es un sistema rentable con ingresos anuales altos.

### **IoT en invernaderos**

El análisis pionero realizado por Carrión, Huerta y Barzallo (2018) ha demostrado cómo la tecnología IoT está transformando la agricultura sostenible, especialmente en el cultivo de lechuga en invernaderos urbanos. Al integrar sensores avanzados y actuadores, se monitorean y controlan variables críticas como la humedad del suelo y la temperatura ambiental. La transmisión de datos a través de servidores remotos permite a los agricultores acceder en tiempo real a información crucial desde cualquier lugar con conexión a Internet.

Esto facilita la toma de decisiones informadas sobre el riego y optimiza el uso de recursos hídricos, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles. Más allá de su aplicación específica, este estudio establece un precedente importante para la investigación y aplicación de la IoT en la agricultura a nivel global. Su impacto radica en impulsar la innovación continua en la producción de alimentos de manera sostenible

La agricultura enfrenta desafíos crecientes debido a la escasez de tierras disponibles y la presión del cambio climático. En este contexto, la integración de tecnología IoT en sistemas agrícolas emerge como una solución prometedora. Valiente, García, Domingo, Estante, Ochaves, Villanueva y Balbín (2018) presentan un estudio innovador que utiliza IoT para automatizar un sistema acuapónico que combina la acuicultura y la hidroponía. Este sistema, que emplea tilapia del Nilo y lechuga romana, ofrece un control preciso de parámetros como pH y temperatura a través de Internet, utilizando el microprocesador Intel Edison. La monitorización remota mediante una cámara IP permite un seguimiento continuo del sistema. Los resultados muestran un significativo aumento de las plantas y los peces en comparación con la piscicultura tradicional y la hidroponía. Este enfoque no solo mejora la eficiencia y productividad del cultivo, sino que también promueve la sostenibilidad agrícola al optimizar el uso de recursos y reducir los impactos ambientales. Este estudio destaca el potencial transformador de la tecnología IoT en la agricultura, especialmente en regiones como Colombia donde la innovación es clave para enfrentar los desafíos agrícolas contemporáneos.

La hidroponía, como método de cultivo sin tierra, ha emergido como una técnica prometedora para la producción agrícola sostenible. Sin embargo, su implementación en invernaderos presenta desafíos en el control preciso del ambiente. Saraswathi, Manibharathy, Gokulnath, Sureshkumar y Karthikeyan (2018) proponen una solución innovadora basada en Internet de las cosas (IoT). Su proyecto automatiza el monitoreo ambiental y el control del pH, facilitando la gestión del cultivo de lechuga en invernaderos colombianos. Mediante la

transferencia de datos a través de IoT, se logra una supervisión remota y en tiempo real, permitiendo una respuesta rápida a las condiciones cambiantes del entorno. Esta integración tecnológica no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también impulsa la sostenibilidad al reducir el desperdicio de recursos y aumentar la productividad agrícola de manera eco-amigable.

El análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca sativa (lechuga) en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible ha sido abordado por Rukhiran y Netinant (2020). En la era digital, la tecnología innovadora de Internet de las Cosas ha sido gradualmente reemplazada y adaptada en diversos sectores, incluida la agricultura. La agricultura de precisión es crucial para el desarrollo de sistemas agrícolas inteligentes, automatizados y precisos. La implementación de granjas inteligentes hidropónicas es una tarea desafiante que requiere consideraciones detalladas de diseño y desarrollo. La investigación se centra en el diseño de la arquitectura del sistema de granja inteligente hidropónica y la interfaz de usuario, utilizando el diagrama de flujo de información. La evaluación del sistema se realiza mediante el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM). Sin embargo, se identifica una falta de aceptación del IoT entre los agricultores a través de los sistemas de granjas inteligentes. Por ende, se propone una mejora para lograr una implementación más efectiva del IoT en un diseño de arquitectura inteligente, especialmente concebido para su uso móvil, en pro de impulsar la agricultura sostenible.

La hidroponía, una técnica agrícola que minimiza el uso de materiales nutritivos, ha encontrado un nuevo impulso con la integración de tecnología IoT. En el estudio realizado por Harikrishna, Naberia, Steffi y Pradhan (2021), se propone un enfoque innovador al conectar sensores y actuadores a la nube UBIDOTS, transformando el entorno en un sistema de lazo cerrado bajo el concepto de Internet de las Cosas. Este sistema utiliza sensores para regular la luminancia artificial, asegurando una fotosíntesis eficiente incluso en condiciones

de baja luminosidad o durante la noche. Además, se monitorean constantemente la temperatura y la humedad dentro del invernadero, permitiendo un control preciso del clima mediante el accionamiento de dispositivos como extractores de aire y nebulizadores. El uso del microcontrolador ESP32, con su módulo Wi-Fi integrado, facilita la conexión a la nube para la visualización en tiempo real de todos los datos recopilados. Esta automatización completa a través de IoT ofrece a los agricultores una herramienta poderosa para optimizar el cultivo de *Lactuca sativa*, al tiempo que fomenta prácticas agrícolas más sostenibles en Colombia.

David, V., Ragu, H., Duraiswamy, R. K. y P, S. (2021) En los últimos tiempos, la agricultura de interior se ha considerado un método más sostenible debido a las desventajas de la agricultura tradicional al aire libre. Este proyecto busca automatizar procesos agrícolas en interiores mediante la monitorización de parámetros como temperatura, humedad, intensidad lumínica y niveles de CO<sub>2</sub>, manteniéndolos en rangos óptimos o alertando al propietario de la finca para que tome medidas correctivas. Utilizando sensores IBMIoT y la plataforma Node-RED, los datos se transmiten a la nube a través de IBM Bluemix. Se ha desarrollado una aplicación móvil para que los propietarios accedan a estadísticas y realicen un seguimiento de la granja desde cualquier lugar, lo que facilita la agricultura interior sin excesiva mano de obra. Este enfoque promueve la agricultura sostenible al optimizar el uso de recursos y mejorar la productividad de los cultivos en invernaderos.

Musa, Hamada, Aliyu y Hassan (2021) proponen la automatización de sistemas hidropónicos para mejorar la eficiencia y minimizar los requisitos de mano de obra, lo que aumenta las ganancias y la producción agrícola. Su enfoque destaca la necesidad de sistemas completamente automatizados capaces de identificar problemas como enfermedades de las plantas, deficiencias de nutrientes y suministro inadecuado de agua para evitar daños en los cultivos y pérdidas de capital. Presentan un sistema de aprendizaje automático basado en IoT

que utiliza una Red Neuronal Convolutiva Profunda (DCNN) para la detección de enfermedades de las plantas. Este modelo alcanzó una precisión del 98,0 % y una puntuación de precisión AUC del 88,0 %, utilizando un conjunto de datos significativo de 54.309 casos con 38 clases diferentes de enfermedades de plantas obtenidas de una base de datos de una aldea de plantas.

La pandemia de COVID-19 ha generado un impacto significativo en la economía familiar, especialmente en los sectores no esenciales y no críticos. En este contexto, el cultivo hidropónico emerge como una alternativa viable debido a su facilidad y bajos costos de implementación. El estudio realizado por Muladi, Bhimantoro, Aripriharta, Hadi, Mahamad y Saon (2021) presenta un sistema micro hidropónico adaptado a la limitada disponibilidad de suelo en áreas urbanas. Este sistema, complementado con tecnología IoT para control y monitoreo remoto, permite la gestión eficiente del cultivo desde cualquier ubicación a través de dispositivos inteligentes. Los resultados experimentales con lechuga muestran que esta integración de tecnologías puede generar verduras frescas y de alta calidad, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y a la promoción de la agricultura sostenible. Además, se destaca el potencial económico de esta iniciativa, ya que la venta de la cosecha puede proporcionar un ingreso adicional significativo en áreas urbanas con viviendas limitadas y economías informales. Se estima que un área de un metro cuadrado puede generar hasta 225 mil rupias adicionales, lo que podría tener un impacto positivo en la recuperación económica de estas comunidades. En conclusión, la implementación de tecnología IoT en cultivos hidropónicos ofrece una solución innovadora y sostenible para enfrentar los desafíos económicos y alimentarios, especialmente en contextos urbanos durante crisis prolongadas como la pandemia de COVID-19.

En un estudio realizado por Chozo Juárez y Agudelo (2021), se propone un sistema de monitoreo remoto en tiempo real de variables clave utilizando tecnología IoT. Este enfoque

no solo busca mejorar la productividad y eficiencia de los cultivos, sino también fomentar la agricultura sostenible al proporcionar alternativas alimentarias locales y mitigar el cambio climático. El diseño de bajo costo de este sistema permite su implementación tanto en invernaderos comerciales como en entornos urbanos, promoviendo la participación de usuarios caseros en la producción de alimentos. Además, al ofrecer el código y los diseños de forma abierta y accesible, se fomenta la colaboración y la mejora continua de la tecnología, lo que podría tener un impacto significativo en la agricultura sostenible a nivel global.

En su estudio, Contreras y Begovich (2022) proponen un sistema de iluminación automatizado para invernaderos hidropónicos interiores en entornos con baja luminosidad. El diseño incluye el uso del Filtro Kalman para reducir el ruido y un controlador PID anti-bobinado, ajustado con PSO, para mantener un nivel óptimo de iluminación ante variaciones en la luminosidad. Además, integran una interfaz web IoT que permite monitorear en tiempo real la iluminación en las plantas, ofreciendo un gráfico detallado de la evolución lumínica a lo largo del día. Este enfoque tecnológico muestra un potencial significativo para mejorar la producción de cultivos como la *Lactuca sativa* en invernaderos, al proporcionar condiciones ambientales más controladas y optimizadas. La implementación exitosa de sistemas similares podría contribuir considerablemente a la promoción de la agricultura y más.

La introducción del sistema hidropónico revolucionó cómo las personas cultivan plantas, especialmente en áreas urbanas y lugares altos. La integración del Internet de las cosas (IoT) ha permitido un monitoreo más avanzado de las plantas, facilitando la recolección de datos y el control de diversos parámetros como contenido de nutrientes, nivel de agua, temperatura, humedad, entre otros. Mediante sensores y un dispositivo microcontrolador, el estudio desarrolla un sistema de monitorización IoT que utiliza la plataforma Blynk para almacenar y analizar los datos recopilados. La solución permite a los usuarios ajustar las condiciones del entorno de cultivo remotamente con una aplicación móvil, permitiendo un

cuidado personalizado de las plantas. Con aplicaciones potenciales en la jardinería de interior, esta investigación presenta una contribución significativa al avance de la agricultura.

Blancaflor et al. (2022)

El incremento de la población mundial ha intensificado la demanda de productos agrícolas, a su vez, agotando la tierra fértil disponible. La hidroponía emerge como una solución para abordar estos desafíos, permitiendo el cultivo de plantas sin tierra mediante el suministro directo de soluciones nutritivas. Este método reduce el consumo de agua y elimina la susceptibilidad a enfermedades del suelo y plagas. En un contexto donde la disponibilidad de agua potable y alimentos es limitada, la hidroponía se presenta como una respuesta integral. Se vislumbra que el futuro de la agricultura estará fuertemente influenciado por este enfoque, especialmente cuando se integra con tecnologías de Internet de las cosas (IoT). La combinación de hidroponía e IoT ofrece un entorno óptimo para el cultivo de *Lactuca sativa* en invernaderos, promoviendo así la sostenibilidad agrícola. Honnavalli (2022)

La implementación de tecnología IoT en cultivos de *Lactuca sativa* en invernaderos presenta un avance significativo hacia la agricultura sostenible. Según Bolívar et al. (2022), el desarrollo de un sistema aeropónico de aprendizaje automático ha demostrado eficacia al generar funciones basadas en lecturas de sensores para crear un entorno óptimo para el cultivo. Este sistema, con características de IoT, permite a los agricultores monitorear y controlar los parámetros ambientales a distancia, lo que potencialmente mejora la eficiencia y la productividad agrícola. Los resultados indican que la lechuga y el brócoli no presentan diferencias significativas en su crecimiento, mientras que la fresa muestra una mejora sustancial. La aceptabilidad del proyecto, evaluada por usuarios y expertos, es alta, con un 82.34%. Esto sugiere que el prototipo no solo mantiene la vida y el crecimiento de las plantas estacionales, sino que también ofrece un sistema aeropónico más eficiente y fácil de usar, promoviendo así la sostenibilidad en la agricultura colombiana.

El estudio se enfoca en la hidroponía como método de cultivo que sustituye el suelo por agua y nutrientes, y utiliza el Internet de las Cosas (IoT) para monitorear los valores relevantes. Mediante una investigación experimental, se evaluó la eficacia de la hidroponía basada en IoT, alimentada por paneles solares. Se comparan dos configuraciones: sistemas de monitoreo IoT en entornos controlados (hidropónicos) y no controlados (agricultura tradicional). Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) indican una diferencia significativa entre los sistemas, con un valor de P de  $1,811 \times 10^{-18}$ , menor que el nivel de significancia de 0,05. Se rechazó la hipótesis nula, lo que sugiere que el sistema hidropónico supera a la agricultura tradicional en términos de calidad y cantidad de cultivos. Este estudio destaca el potencial de la tecnología IoT para mejorar la producción agrícola y promover la sostenibilidad en la agricultura. Faustino et al. (2022).

Chauhan, R., Gupta, V., Gupta, R., Bhatt, C. y Devliyal, S. (2023) presentan un sistema hidropónico vertical inteligente que integra soluciones de fotosíntesis artificial, iluminación especializada, sensores y tecnología IoT. La revisión exhaustiva de tecnologías de cultivo alternativas, como hidroponía horizontal, aeropónica y acuaponía, contextualiza esta solución. La propuesta combina la hidroponía vertical con la tecnología IoT, integrando analizadores de nutrientes, sensores de pH y conductividad eléctrica (EC), junto con control de iluminación y comunicación GSM. El enfoque busca proporcionar una solución sostenible y totalmente automatizada para maximizar el rendimiento de los cultivos, promoviendo así la agricultura sostenible en entornos controlados como los invernaderos colombianos.

Hoy la hidroponía se destaca como una técnica agrícola globalmente reconocida. Este método implica el cultivo de plantas en agua en lugar de suelo, con una composición nutricional adaptada a las necesidades específicas de las plantas. Es relevante en técnicas de agricultura vertical, que reducen el espacio y el agua necesarios en el suelo y la carga de trabajo para los agricultores. Sin embargo, el uso de técnicas hidropónicas en interiores

implica una mayor inversión en consumo eléctrico y control de factores de crecimiento como la luz solar, humedad, temperatura, nivel del agua, pH y conductividad. La incorporación del Internet de las Cosas (IoT) ofrece soluciones para la agricultura inteligente, facilitando el uso de células solares para reducir el consumo energético y el control automatizado de los factores de crecimiento. En esta investigación, Teparat y Onarun (2023) exploran cómo la IoT puede mejorar la eficiencia de la agricultura hidropónica al recopilar datos precisos sobre los factores de crecimiento de las plantas, permitiendo la identificación de patrones de crecimiento ocultos. Esta integración promete impulsar la sostenibilidad agrícola al tiempo que optimiza los recursos y reduce la huella ambiental.

La hidroponía emerge como una innovación crucial en la agricultura, empleando sistemas de agua para satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas. Este enfoque, especialmente eficiente comparado con los métodos de suelo tradicionales, utiliza agua enriquecida con minerales esenciales para las plantas, proporcionándola a las raíces de forma continua. En el contexto colombiano, donde la agricultura sostenible es de suma importancia, la implementación de tecnología IoT en invernaderos puede revolucionar la producción de cultivos como la *Lactuca sativa*. Esta integración permite monitorear y controlar remotamente condiciones ambientales y necesidades de las plantas, optimizando el uso de recursos como el agua y la energía. Además, esta tecnología ofrece la oportunidad de adaptar el entorno de cultivo a las especificidades de la lechuga, maximizando su crecimiento y calidad mientras se minimiza el impacto ambiental. El estudio de S. M, D. N. Kumar, H. S. Vamsi y B. Ranganayakulu (2023) destaca la importancia de esta aproximación para la agricultura sostenible, ofreciendo una visión clave sobre el potencial de la tecnología IoT en la producción de alimentos.

### **IoT aplicado en invernaderos de Lactuca sativa (Lechuga)**

Como primer exponente en esta tercera se hace referencia a Gertphol, Chulaka y Changmai (2018), quienes desarrollan modelos predictivos que permiten dimensionar con mayor precisión el crecimiento y calidad de la lechuga. Sus primeros pasos por realizar es la recolección de datos de cultivos hidropónicos de lechuga donde incluyen los datos ambientales (luz, humedad, temperatura.) y datos del crecimiento de las plantas (área de la hoja, cantidad de hojas). Esta recolección de datos fue durante un periodo de 2017 (febrero) a 2018 (agosto) obteniendo 326 muestras en 8 ciclos de cultivos. Estos datos tomados los normalizan y dividen en conjuntos de entrenamiento y pruebas donde se consideran dos escenarios: usar datos ambientales, o usar datos ambientales y de crecimiento de la planta. Aplican algoritmos de aprendizaje automático para crear modelos predictivos semanales, entre los usados destacan la regresión lineal múltiple, la regresión de vectores de soporte (SVR), y redes neuronales artificiales (ANN), usan validación cruzada de 10 interacciones seleccionando el mejor modelo cada semana y variable objetivo en función del error cuadrático medio (RMSE) más bajo. El método de predicción demostró que supero a SVR, en la semana 3 se obtiene una mejor predicción que en SVR en un 24.44% peso fresco total, 13.93% contenido de nitrato, 0.47% número de hojas, y 12.04% área de la hoja, utilizando solo datos ambientales, comparando estas 4 variables con SVR resulta una mejora de 13.09%, 5.52%, 19.47%, y 5.06%.

Por otro lado, Changmai, Gertphol y Chulaka (2018) desarrollan una granja hidropónica inteligente de lechuga utilizando tecnología de internet de las cosas (IoT) con el fin de investigar qué beneficios tiene en comparación con una granja hidropónica regular. Con el fin de realizar esta comparación establecieron dos mesas hidropónicas idénticas una siendo granja regular y la otra como granja inteligente con tecnología IoT para monitorear ambiente, controlar la solución nutriente, y generar niebla para controlar temperatura y humedad. En

ambas granjas se cultiva la lechuga durante septiembre y octubre midiendo semanalmente el crecimiento de las plantas (número de hojas, altura, ancho, diámetro de tallo, y área de la hoja), durante la cosecha se mide el peso fresco de brotes, raíces, peso seco, y contenido de nitrato de las lechugas, mostrando resultados donde el cultivo en la granja inteligente tuvo un promedio de 35.59% más de peso total, 17.2% más de hojas, 13.9% más de diámetro, y 8.24% menos de nitrato.

Namgyel, Siyang, Khunarak, Pobkrut, Norbu, Chaiyasit y Kerdcharoen (2018) desarrolla un sistema hidropónico inteligente con iluminación Led suplementaria habilitado mediante la tecnología de internet de las cosas (IoT) para un cultivo urbano de lechuga con visualización de datos en tiempo real. Se encargan de construir un invernadero dividido en 4 partes, cada parte con un tipo de tratamiento distinto de iluminación led, el primero, luz roja profunda, el segundo, luz azul profunda, tercero se combina la luz azul y roja, y cuarto y último luz solar natural. Se utiliza una cámara para transmitir imágenes en tiempo real y usan distintos sensores IoT con el fin de monitorear la temperatura del aire, humedad relativa, temperatura de la solución nutriente y energía en tiempo real. Toda la información recolectada se transmitió con WI-FI a una base de datos en nube accesible mediante una aplicación web. Los parámetros fisiológicos que se midió en el cultivo de lechuga fue el peso fresco, área foliar, peso seco, contenido de clorofila, y densidad de hojas. Los resultados obtenidos frente a los tratamientos realizados indican que el tratamiento de luz azul profunda tuvo mayor acumulación de biomasa, densidad foliar, área foliar y contenido de pigmentos comparados con los demás tratamientos realizados.

Puengsungwan y Jirasereeamornkul (2019) diseñan un sistema de cultivo hidropónico de lechuga basado en internet de las cosas (IoT) donde este utiliza paneles solares como fuente de energía. Para monitorear el estado interno de las hojas como la diferencia de temperatura entre la hoja y el aire ambiente desarrollan un sensor de transpiración foliar en

tiempo real. Determinan mediante el sensor foliar los ciclos de trabajo adecuados en tiempo real controlando así las bombas eléctricas del sistema hidropónico. Realizan pruebas en cultivo con la lechuga donde su ciclo óptimo fue tener la bomba encendida durante 1 o 2 minutos y apagado durante 3 o 5 minutos según las condiciones de transpiración. En el cálculo que se realiza indican que con el sistema propuesto con el sensor de transpiración foliar solo eran necesarios 10 conjuntos de paneles solares y baterías para una granja hidropónica de 800 metros cuadrados en comparación a los 30 conjuntos que antes eran necesarios. Los autores concluyen con este proyecto, el uso del sistema propuesto junto al sensor de transpiración foliar y el control de bombas, se presentó una reducción de consumo de energía de un 67%.

Por otro lado, Herman y Surantha (2019) se propone un sistema inteligente de monitoreo y control para la agricultura hidropónica de precisión mediante el uso de tecnología de internet de las cosas (IoT) y lógica difusa. Se monitorea las necesidades de agua y nutrientes mediante sensores IoT en las plantas hidropónicas, y con el sistema de control basado en lógica difusa se suministra el agua y nutrientes de forma precisa. Las variables medidas mediante sensores fueron la de pH, conductividad eléctrica (CE), nivel de agua, y humedad, estos sensores se conectan a un microcontrolador ESP8266 para monitorear las condiciones de las plantas. Crean funciones de membresía difusa para pH, CE, nivel de agua, y temperatura de aire, y para el control de duración de apertura de válvulas, bombas de agua, nutrientes y pH aplican reglas de lógica difusa (Mamdani), desarrollando así una instalación hidropónica experimental. El sistema que propusieron produjo un mejor crecimiento en plantas como la lechuga y el bok choy en el tamaño de las hojas en comparación al método tradicional, estos resultados se validan por un tiempo de 4 semanas a través de apariencia visual de las plantas y la medida de largo y ancho de las hojas.

Por su parte, Lucero, Lucero, Ormeno-Mejia y Collaguazo (2020) desarrollan un sistema automatizado de cultivo aeropónico basado en Arduino cuyo fin es mejorar la productividad y reducir el daño ambiental en comparación con otros métodos, utilizan sensores de temperatura, humedad, pH, y nivel de solución nutritiva, desarrollan a su vez un sistema de riego (Bombas y nebulizadores) con intervalos de tiempos específicos según la etapa de crecimiento de la planta y las condiciones ambientales presentes. Por otro lado, integran un módulo de comunicación GPRS para el monitoreo remoto de variables mediante un servidor web (ThingSpeak), a su vez también desarrollan un modo manual y uno automático para el funcionamiento del sistema. El cultivo aeropónico se compara con el tradicional, más de un 40 % en producción de hojas y diámetro, el crecimiento de raíces fue aproximadamente un 40 % mejor, la densidad de las plantas fue de un 430% y el consumo de agua fue más eficiente con un tanque de 50 litros suministrando riego unos 5 días.

Así mismo, Farizan, Putrada y Pahlevi (2021) diseñan un sistema aeropónico con internet de las cosas (IoT) con el fin de cultivar *Lactuca sativa* (Lechuga), para esto usan sensores de intensidad de luz, temperatura del aire, humedad del aire, y temperatura del agua. Se recopilan los datos de estos sensores y se realizan observaciones manuales de crecimiento de la lechuga (número de hojas, peso fresco, longitud y ancho de las hojas.) esto se realiza durante 21 días. Entre los datos procesados se eliminan los valores atípicos y aplican un escalamiento de características para manejar el desequilibrio entre las diferentes escalas de los sensores, y mediante la correlación de Pearson se selecciona características. Se entrenan modelos de regresión de vectores de soporte (SVR) para la predicción de crecimiento de la lechuga (número de hojas, peso fresco, longitud y ancho de las hojas) con los datos procesados. El desempeño de los modelos SVR se evalúan mediante cálculo de error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de determinación (R - cuadrado). Como resultado mencionan que los valores óptimos de R-cuadrado para los modelos SVR en la predicción de

números de hojas, peso fresco, longitud y ancho de hojas fueron de 0.98 en cada caso y el procesamiento de datos como el escalamiento de características y selección de características mejoro el rendimiento de los modelos SVR.

Por otro lado, Nugroho, Putrada y Rakhmatsyah (2021) diseñan un sistema hidropónico de película nutriente (NFT) cerrado usando sensores de temperatura, nivel de agua, intensidad de luz, y humedad, también actuadores como ventilador, válvula solenoide y una lampara, con el fin de poder controlar el ambiente del cultivo. Se recopilan un aproximado de 4000 datos de control del sistema IoT desarrollado mediando intervención manual de los usuarios. Por otro lado, se entrena un modelo neuronal profundo (DNN) usando los datos recopilados con el fin de clasificar las acciones de control más adecuadas basadas en las entradas de los sensores. Siendo así, este modelo alcanza una predicción del 81%, este fue implementado en el sistema IoT hidropónico para realizar el control predictivo automático de los actuadores donde evalúan el desempeño del sistema en comparación con los sistemas manuales, observando que el modelo DNN logra mantener más estables las condiciones ambientales en el cultivo de lechuga.

Así mismo, Anitha, Jnaneshwari, Harshitha y Bhanu Nagesha (2022) implementan un sistema de cultivo hidropónico de cultivo profundo en agua (DWC, por sus siglas en ingles) para el crecimiento de lechuga roja mediante la tecnología de internet de las cosas (IoT) permitiendo monitorear y controlar el sistema. Se utilizan sensores de temperatura, humedad, presión atmosférica, intensidad de luz, solución nutritiva y conductividad eléctrica. También se integra un módulo WI-FI con el fin de transferir los datos de ellos sensores a una nube y poder acceder a ellos a través de una aplicación móvil (Blynk). En los experimentos realizados se varía la intensidad de la luz entre <300l lúmenes y 400-700 lúmenes, manteniendo estables los otros parámetros en niveles óptimos (conductividad eléctrica, presión, temperatura, y humedad). Como resultado a este experimento observan que con una

intensidad inferior a 300 lúmenes el crecimiento de las plantas es afectado negativamente mostrando signos de decoloración. Por otro lado, con una intensidad entre 400 - 700 lúmenes las plantas crecieron de forma sana obteniendo mejores rendimientos afirmando así que la intensidad de luz adecuada es crucial para el crecimiento óptimo de las plantas en un sistema hidropónico DWC y que la tecnología IoT da paso a lograr el monitoreo y control eficiente de los parámetros ambientales.

Por otro lado, Prince, Adnan, Rifat, Mostafiz y Rahman (2022) desarrollan un sistema de monitoreo remoto para una granja hidropónica vertical, el sistema de monitoreo incluye sensores de pH, humedad, temperatura, conductividad eléctrica, y un módulo ESP8266. Se utiliza la plataforma en la nube Blynk con el fin de visualizar el estado del sistema hidropónico mediante un dispositivo móvil. Con el uso de los sensores adecuados, y la implementación del módulo ESP8266 se desarrolla la interfaz de monitoreo en la aplicación móvil de Blynk logrando visualizar los datos en tiempo real. Se valida la efectividad del cultivo durante 2 semanas con semillas de tomates y lechugas, se observó que las semillas de tomate crecieron 6.3 en este tiempo, y las de lechuga 3.9 en el mismo tiempo. Se indica que el sistema de monitoreo funciona correctamente ya que permite observar dichos parámetros del sistema hidropónico desde una ubicación remota.

Así mismo, Agbayani y Villaverde (2022) desarrollan un sistema de monitoreo de hidroponía basado en tecnología IoT usando la técnica de flujo profundo (DFT), comparan el crecimiento y rendimiento de la lechuga en 3 intervalos de recirculación de nutrientes de 30 min cada hora, cada 12 horas, y cada 24 horas. Para esto se usan los nodos de los sensores inalámbricos y servidores IoT en la nube para el monitoreo de los distintos parámetros (pH, conductividad eléctrica, y temperatura del agua). La técnica DFT se implementa en un invernadero con tuberías en PVC con orificios circulares e implementan el protocolo MQTT para la comunicación inalámbrica y se desarrolla la aplicación web para la visualización de

los datos enviados por los sensores. El cultivo de lechuga tuvo un seguimiento de 29 días. Como resultado se concluye que el sistema logro realizar el monitoreo eficazmente, la aplicación web proporciono una visualización confiable de datos, condiciones de los sensores e informes. De los 3 intervalos de recirculación el que influye positivamente en el rendimiento y crecimiento de la lechuga fue el de 30 min cada hora, a comparación de los intervalos de 12 y 24 horas que dieron efectos negativos en la cosecha.

Por otro lado, Bernardo, Fajardo y Medina (2022) diseñan un sistema inteligente de iluminación led basado en lógica difusa para agricultura vertical mediante la implementación de la hidroponía y el uso de energía solar en cultivos de lechuga. Investigan los distintos efectos de varios tratamientos de luz según el rendimiento de crecimiento semanal (altura de la planta). Se establecen 3 tratamientos en un diseño de bloques completos al azar (RCBD), el primero es iluminación inteligente 24 horas, segundo iluminación inteligente 18 horas con ajuste manual, y el tercero iluminación inteligente 12 horas con tecnología de internet de las cosas (IoT). Estos tratamientos fueron configurados y controlados con Arduino. Se monitorea diariamente el crecimiento y la iluminación, también se realizó una evaluación sensorial y un análisis proximal del laboratorio en la lechuga cosechada. Como resultados se demostró que los cultivos verticales en interior son posibles, y que el tratamiento más adecuado, fue el tercer tratamiento con iluminación inteligente por 12 horas con IoT, ya que los resultados de este tratamiento fue el que tuvo mayor rendimiento en altura (25 mm) y peso (325 g) siendo el tratamiento más aceptable sensorialmente en color, hojas crocantes y ausencia de amargor. El análisis proximal no mostro diferencias significativas en el contenido nutricional con el estándar.

También, Calzita, Jubilo, Permejo, Reas, Baun, Concepcion II, De Leon, Bandala, Mayol, Vicerra y Dadios (2023) desarrollan un sistema aeropónico inteligente para el control y monitoreo en tiempo real de la producción de *Lactuca Sativa* (Lechuga). Usan una

Raspberry pi para el monitoreo de los parámetros de crecimiento en tiempo real, estos parámetros eran la temperatura, intensidad de luz y humedad relativa. Implementan un sistema de control automático para ajustar la intensidad de luz, activar el sistema de enfriamiento termoeléctrico, el extractor y el humidificador según las condiciones presentes. Para acceder a los datos en tiempo real desde un dispositivo móvil, o un computador, desarrollan una aplicación web que permite al usuario ajustar valores preestablecidos de temperatura, y humedad para las raíces y brotes. El sistema permite el monitoreo y registro de los parámetros de crecimiento (temperatura, intensidad de luz y humedad relativa) esperados por minuto durante cada prueba, logrando mantenerlos dentro del umbral adecuado. El sistema realiza las acciones necesarias (enfriamiento, extracción, humidificación) para corregir los parámetros que no se ubicaban dentro del umbral. La aplicación web permite el acceso a la interfaz gráfica de usuario (GUI) y a las mediciones más actuales desde computadores y dispositivos móviles proporcionando datos confiables. Los rangos predeterminados se logran y se mantuvieron gracias al sistema de control y sus actuaciones, permitiendo un enfoque inteligente frente al manejo de sistemas aeropónicos.

Por otro lado, Mohagheghi y Moallem (2023) desarrolla un sistema de iluminación hortícola inteligente basado en LED para el cultivo de *Lactuca Sativa* (lechuga) en invernaderos, su objetivo consistía en lograr una iluminación suplementaria energéticamente eficiente donde se mantuviera la calidad e intensidad de luz en el espectro de fotosíntesis. implementan sensores de bajo costo para medir la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD), luces LED regulables, cámaras e internet de las cosas (IoT) para monitorear el crecimiento del cultivo. Utilizan un controlador de red neuronal en línea independiente para regular la intensidad de luz LED suplementaria. Se realizan experimentos y se comparan con métodos tradicionales donde los resultados muestran que pueden proporcionar integrales diarias de luz ( cuando se habla de las integrales diarias corresponde a "Daily Light Integral"

(DLI) o Integral Diaria de Luz, usado para medir la cantidad total de luz fotosintéticamente activa (PAR) que recibe una planta durante de 24 horas.) deseado a las plantas en condiciones naturalmente cambiantes y reduciendo el consumo de energía por unidad de masa seca de lechuga en un 28% en comparación con los métodos de programación existente. Este enfoque permite evitar problemas de salud en las plantas, por ejemplo, la quemadura por exceso de luz manteniendo un perfil de luz uniforme en el dosel de las plantas.

Así mismo, Venkatraman y Surendran (2023) desarrollan e implementan un sistema hidropónico inteligente para el cultivo de *Lactuca sativa* (Lechuga) usando la tecnología de película nutriente (NFT). Mediante la tecnología IoT se realiza monitoreo y recolección de datos en tiempo real de sensores de pH, humedad, temperatura, intensidad de luz, y flujo de agua dentro del sistema hidropónico NFT. Mediante el algoritmo de aprendizaje profundo de redes neuronales recurrentes de memoria de largo plazo (RNN-LSTM) para predecir las acciones de control adecuadas según los datos recolectados de los sensores como el riego y el rociador. El sistema de monitoreo y control del sistema hidropónico se controla mediante Arduino, y sus salidas mediante Raspberry Pi. Estos datos y predicciones son almacenadas en una base de datos en la nube llamada firebase. El cultivo de lechuga demostró un buen desempeño de crecimiento en el entorno controlado. Se contribuyó al aumento de la productividad y a crear conciencia sobre la agricultura en áreas con recursos limitados de tierra y agua.

Por otro lado, Barcenilla y Maderazo (2023) crean un modelo de red neuronal convolucional (CNN) con el fin de identificar plagas y enfermedades comunes en las plantas de lechuga mediante el uso de técnicas de reconocimiento de imágenes y aprendizaje profundo, se recopilan datos de imágenes de plantas de lechugas sanas, enfermas, y afectadas por plagas y las procesan mediante codificación categórica, cambio de aumento de tamaño de imagen y aumento de datos, usan Google colab para escribir el código y crear el modelo CNN

con librerías de Python (TensorFlow y Keras). Usan la entropía cruzada categórica como función de pérdida y el optimizador Adam para el entrenamiento. Este modelo obtiene una precisión máxima de 95,72% en uno de sus 10 pliegues usados para evaluar el rendimiento, demostrando un rendimiento y capacidad alta para identificar plagas y enfermedades comunes en plantas de lechuga. Se reconoce el potencial de poder implementar la tecnología IoT y sensores remotos ya que aumentaría el potencial obteniendo datos ambientales y de cultivo en tiempo real mejorando así el modelo de identificación de plagas y enfermedades.

En cambio, Nafil, Saufi, Hdili, Faqihi, Maghraoui, Kobbane y El Koutbi (2023) desarrollan un sistema de monitoreo y protección contra enfermedades para plantas de lechuga mediante el uso de tecnología IoT, procesamiento de imágenes, Big data, y aprendizaje automático. La recolección de datos en tiempo real sobre el crecimiento de las plantas (temperatura y humedad) se realizó mediante IoT y el uso de sensores. Se implementa un robot móvil con una cámara con el fin de tomar imágenes de las plantas y poder identificar enfermedades. Esta información fue enviada a una nube usando el protocolo SSH para su procesamiento. Los modelos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo se desarrollan mediante el uso de bibliotecas de spark MLlib con el fin de analizar datos y encontrar anomalías, se evalúa el rendimiento de distintos algoritmos como Redes Neuronales Convolucionales (CNN), Vecinos más Cercanos (KNN) y Perceptrón Multicapa (MLP), obteniendo como resultados que el modelo de redes neuronales convulsiónales (CNN) obtienen un 94% siendo el dato con mayor precisión en la detención de enfermedades, los modelos KNN y MLP evidencian resultados de un 93%. Su desarrollo final se enfoca en la creación de una aplicación móvil para controlar el robot y monitorear el estado en tiempo real de las plantas.

## **Análisis de Resultados**

Partiendo desde la revisión bibliográfica realizada sobre el análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca Sativa en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible, se presenta un análisis minucioso de los resultados que se han obtenido. Se realiza para reconocer y establecer las mejores prácticas y avances tecnológicos dentro de este campo. El análisis permite comprender el estado actual del conocimiento dentro del área y campo destacando y señalando las oportunidades y soluciones que existen para promover la agricultura sostenible.

El objetivo de este capítulo es establecer las bases de aquellas futuras investigaciones o desarrollos que estén dentro del área de la agricultura sostenible, agricultura de precisión, agricultura con tecnologías de internet de las cosas (IoT), facilitando una visión actual de los hallazgos a todo investigador, agricultor, y profesionales en el sector agrícola. Por lo tanto, se ha dividido en varias secciones este capítulo siendo de la siguiente manera.

### **IoT y su aporte en el campo**

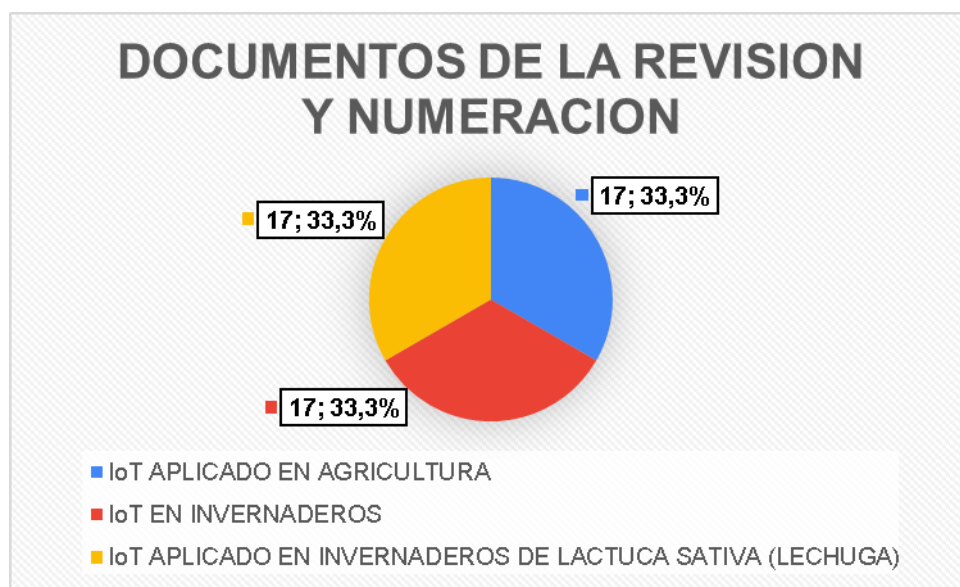
Los resultados obtenidos del análisis de los estudios, proyectos de campo, y soluciones proporciona una visión panorámica de las distintas formas de uso e implementación que se organizan en diferentes grupos los cuales serán representados gráficamente con base a la revisión y el protocolo utilizado en el capítulo anterior.

Planteando así una distribución significativa de los métodos de implementación según el campo agrícola, promoviendo la agricultura sostenible basados en tecnología de internet de las cosas (IoT) en Colombia en cultivos de Lactuca Sativa (Lechuga), lo cual se logra reflejar en 3 grupos diferentes como se muestra en la ilustración ( 4), donde se observa un equilibrio entre los 51 artículos partiendo desde un punto de vista general, uno en específico en invernaderos, y otro en invernaderos con un cultivo específico, destacando su gran potencial

para transformar la agricultura mediante el desarrollo de aplicaciones, nubes de red, sensores, algoritmos, inteligencia artificial, procesamiento de imágenes, protocolos de comunicación, entre otros.

**FIGURA 4**

*Revisión y numeración de documentos*



*Fuente.* Elaboración propia

Se inicia identificando que desarrollos se han venido implementando a nivel general de la agricultura basados en IoT sin importar el tipo de cultivo o lugar proveniente de la investigación o implementación siendo este el inicio para completar el objetivo. Este primer caso constituye el 33.3% de los artículos analizados. Se demuestra que la implementación de la automatización de cultivos sin importar la región se ve como una alternativa para el mejoramiento de los cultivos, partiendo desde el monitoreo en tiempo real, recolección de variables climáticas, condiciones en los cultivos, y ofreciendo información relevante que contribuye a un cultivo sano sin enfermedades y plagas.

Observando la segunda categoría, esta se enfoca más en cultivos controlados, en este caso en invernaderos, ya sea desde la acuaponía, la hidroponía o la aeropónica, partiendo

desde distintos cultivos independientes de su geografía o región. Este representa también un 33.3% con 17 documentos que aportan información relevante de proyectos implementados e investigaciones.

En cuanto a la última división nombrada como IoT aplicado en invernaderos de Lactuca Sativa (Lechuga) representa también el 33.3% con 17 artículos enfocados en el cultivo de controlado de Lactuca Sativa mediante las distintas tecnologías implementadas que van de la mano con el IoT, desde una aplicación web o móvil con información en tiempo real y notas que permiten el estudio y comparación de datos reales del cultivo con datos bases que indican la clave de un cultivo sano, hasta la automatización propia mediante inteligencia artificial controlando y enviando instrucciones dadas las condiciones presentes demostrando las mejoras en los procesos agrícolas frente al cultivo de Lactuca Sativa u otro tipo de cultivo.

Por otro lado, se evalúan las distribuciones de artículos analizados por año de publicación, teniendo en cuenta que los analizados fueron con una antigüedad máxima de 10 años donde se observa la creciente del uso de soluciones IoT y la implementación de esta misma en el sector agrícola demostrando un enfoque en la mejora, la eficiencia, la sostenibilidad y la precisión dentro de este campo de la agricultura. Se marca un notable crecimiento exponencial en el uso de la tecnología del internet de las cosas (IoT) en la soluciones e implementaciones encontradas a partir del año 2021 demostrando las ventajas que trae frente a las técnicas manuales de cultivo en invernaderos y su objetivo de cambio que se ve a la hora de promover la agricultura sostenible.

Así mismo, se demuestra que para el año 2022 y 2023 se encontró la misma cantidad de artículos demostrando el aumento en la investigación y búsqueda de artículos basados en agricultura con IoT y su implementación con cambios es sus cadenas de búsqueda y palabras claves manteniendo la idea de cultivos automatizados mediante IoT en ambientes

controlados, donde actualmente es un tema vigente en la automatización de cultivos a comparación con los años anteriores donde se observa que solo en el año 2018 hubo un leve aumento en estos proyectos, con el menor número de artículos encontrados para el año 2014. Es importante destacar que la combinación de diferentes tecnologías, protocolos de comunicación, IoT, e inteligencia artificial abre una gran posibilidad para el avance tecnológico y mejoramiento de cultivos en el campo de la agricultura con altas probabilidades de éxito permitiendo múltiples ventajas sin tener pérdidas.

En la siguiente ilustración (5) se relaciona la distribución de las publicaciones realizadas según el país de origen, permitiendo vislumbrar la presencia de esta tecnología a nivel internacional sin importar su geografía.

**FIGURA 5**

*Cantidad de estudios por país*



*Fuente.* Elaboracion propia

Según la investigación realizada, se determina dicha distribución geográfica de los artículos obtenidos, la cual se evidencia que está liderada por India y Filipinas con un total de 17 y 9 artículos que fueron publicados representando el 50.9% de la participación frente a la investigación e implementación de proyectos, demostrando una fuerte adopción de la

tecnología del internet de las cosas en el campo de la agricultura. Otros países como Tailandia e Indonesia representan una contribución mediana, destacando el gran interés en estas nuevas tecnologías de automatización en el campo de agricultura desarrollando alternativas frente a los desafíos que se presentan a la hora de la sostenibilidad de un cultivo controlado.

Estos resultados reflejan una distribución a nivel geográfico que se enfoca en la implementación de tecnología IoT en cultivos e invernaderos que promueven la agricultura sostenible donde el interés creciente por estas nuevas tecnologías que ofrecen múltiples ventajas y puntos de interés.

### **Técnicas, implementaciones y tecnologías**

Se realiza un análisis de datos detallado de la base de datos de referencia mediante la herramienta de mapeo científico SciMAT que a su vez permite realizar un análisis bibliométrico. Se identifican 3 grupos los cuales representan soluciones tecnológicas las cuales han demostrado un avance en el pasar de los años en su importancia y la capacidad de implementación, este análisis se realiza en 3 grupos por años iniciando del año 2014-2016, 2017-2019, y 2020-2023 donde se expone la evolución y la adaptación de las distintas técnicas e implementaciones desarrolladas con nuevas tecnologías que soportaran el internet de las cosas (IoT) para el análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de *Lactuca sativa* (lechuga) en invernaderos. Por medio de estas 3 categorías se realiza un análisis profundo de las tendencias emergentes y sus puntos claves de inicio, sus avances, sus puntos de partida y sus distintas ramas de implementaciones en la medida del transcurrir de los años, proporcionando con exactitud la evolución del internet de las cosas en la agricultura.

Mediante esta revisión de datos se crea un mapa longitudinal con información basada en palabras claves que representan los documentos analizados en la medida de la

investigación, relevando puntos claves en la evolución e implementaciones de nuevas tecnologías. Se brinda una vista significativa de la evolución gradual de estas palabras claves que fueron extraídas de 51 publicaciones analizadas, donde se resalta la permanencia durante el tiempo y la integración de nuevos términos a lo largo de los años.

Mediante este primer análisis con la herramienta SciMAT se realizan los siguientes pasos demostrados mediante las siguientes figuras.

Se ingresa primeramente la base de datos con las que se está trabajando actualmente en la monografía, partiendo de este punto realizamos una categorización de palabras claves con el fin de agruparlas por periodos.

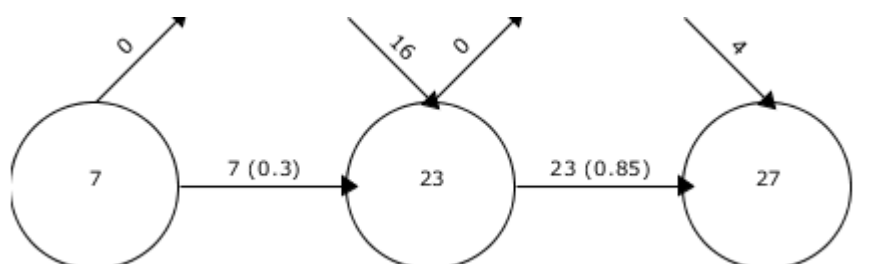
Dentro de los pasos de configuración de la clasificación de la información de la base de datos presentada en SciMAT se crean los periodos de tiempo que clasificarán los artículos basados en el año de publicación. Se analizan las palabras claves encontradas en los artículos por periodo de años, realizando un análisis de co-ocurrencia en una medida de normalización de Equivalence index usando un algoritmo de agrupamiento (algoritmo de centros simples) aplicando límites de tamaño de máximos y mínimos detallando un mapeo central y secundario de la información, en la selección de las medidas de calidad se ejecutan h-index y average citations. Para representar la información en un mapa longitudinal se realiza uso de la opción Equivalence index tanto para la evolución y la superposición.

El análisis que se realizó siguiendo los pasos anteriores para los 3 periodos analizados revelan patrones evolutivos precisos como se muestra en la ilustración (6). En el primer periodo 2014-2016 se logran identificar 7 grupos de palabras claves que están fuertemente arraigadas en este primer periodo y que se amplían al segundo periodo del 2017-2019. En este segundo periodo se incorporan nuevas palabras claves más exactamente 16 nuevas palabras para un crecimiento total de 23 grupos de palabras claves en este segundo periodo. En el

último periodo del 2020-2023 se observó también un crecimiento exponencial donde al grupo se añaden nuevos grupos de palabras claves para un total de 27 grupos de palabras claves en el último periodo.

**FIGURA 6**

*Mapa longitudinal realizado con SciMAT mapa superpuesto*



*Fuente.* Elaboracion propia

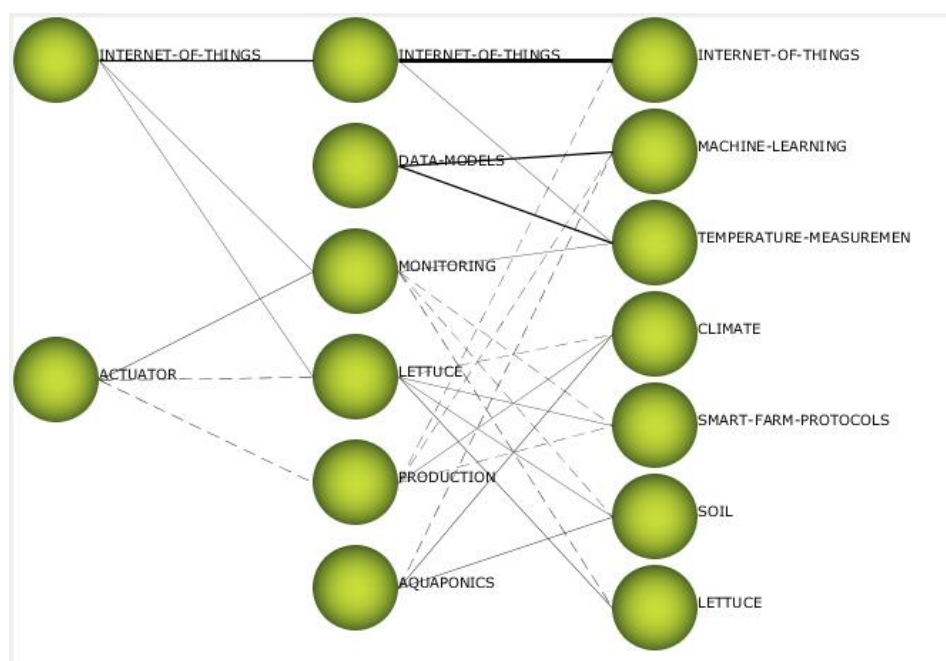
Por otro lado, este análisis nos brinda otro punto de vista más detallado, partiendo desde el punto de hIndex (índice h) y el promedio de citaciones de los artículos, este paso permite medir el impacto que tuvieron las palabras claves en función de la investigación y el número de citaciones en los documentos, proponiendo un análisis detallado según los conceptos de investigación en los periodos de tiempos analizados.

Se evidencia que el hIndex (índice h) y el número de citaciones se mantiene con fuerza durante estos periodos de tiempo de investigación. Se establecen los dos primeros conceptos con más fuerza siendo el Internet-of-things y Actuator, de estos como una red se desprenden los demás conceptos que se incorporan en los siguiente periodos de tiempo estando entrelazados con los conceptos principales, en el segundo periodo se observa que el concepto de Internet-of-things tiene fuerza y no es reemplazado por otros conceptos, pero el concepto de actuator se ve reemplazado por otros conceptos más detallados dentro del campo sin perder influencia o cambiar el significado ya que estos nuevos conceptos vienen en cadena partiendo desde su punto inicial mostrando un crecimiento exponencial en conceptos.

En último, el internet-of-things sigue siendo uno de los términos más influyentes dentro del tema que se está trabajando y analizando, de este término desprenden nuevos términos en cadena como el machine-learning y Smart-farm-protocols, que son encontrados en este nuevo periodo demostrando la evolución y la implementación de nuevos conceptos y soluciones para una meta o problema en común añadiendo tecnologías y técnicas nuevas en pro de la mejora y una investigación más enfocada a términos concretos.

**FIGURA 7**

*Documentos básicos-citas promedio e índice h*



*Fuente.* Elaboración propia

El mapa que se muestra en la ilustración (7) representa el promedio de documentos analizados que se componen con los distintos grupos de palabras claves donde se evidencia el crecimiento y la acogida a nivel académica y de investigación frente al análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de *Lactuca sativa* (lechuga) en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible.

Lo primero que se evidencia es el crecimiento en el número de documentos analizados, partiendo de dos conceptos claves como el internet-of-things y actuator, se observa que en el primer periodo el promedio de documentos encontrados con estos términos básicos era mínimo a comparación con el segundo periodo, donde se destacan nuevos conceptos entrelazados con los conceptos bases de la investigación, demostrando que estos conceptos se han arraigado y han estado presentes en nuevos proyectos como en el caso del internet-of-things, donde se evidencia que el número de documentos con este conceptos no solamente se ha mantenido sino, que también ha crecido y generado nuevas conexiones con nuevos términos como monitoring y lettuce ya que estamos enfocados en el cultivo de Lactuca Sativa. En el caso de Actuator vemos que este término ha evolucionado y se transforma en consecuencia en términos de búsqueda como monitoring, production y lettuce. Se añaden nuevos conceptos relacionados como se indica en el mapa de la ilustración (7) Data-Models y Aquaponics, demostrando que en este periodo los que generan mayor influencia en los distintos documentos fueron el internet-of-things, monitoring, y lettuce.

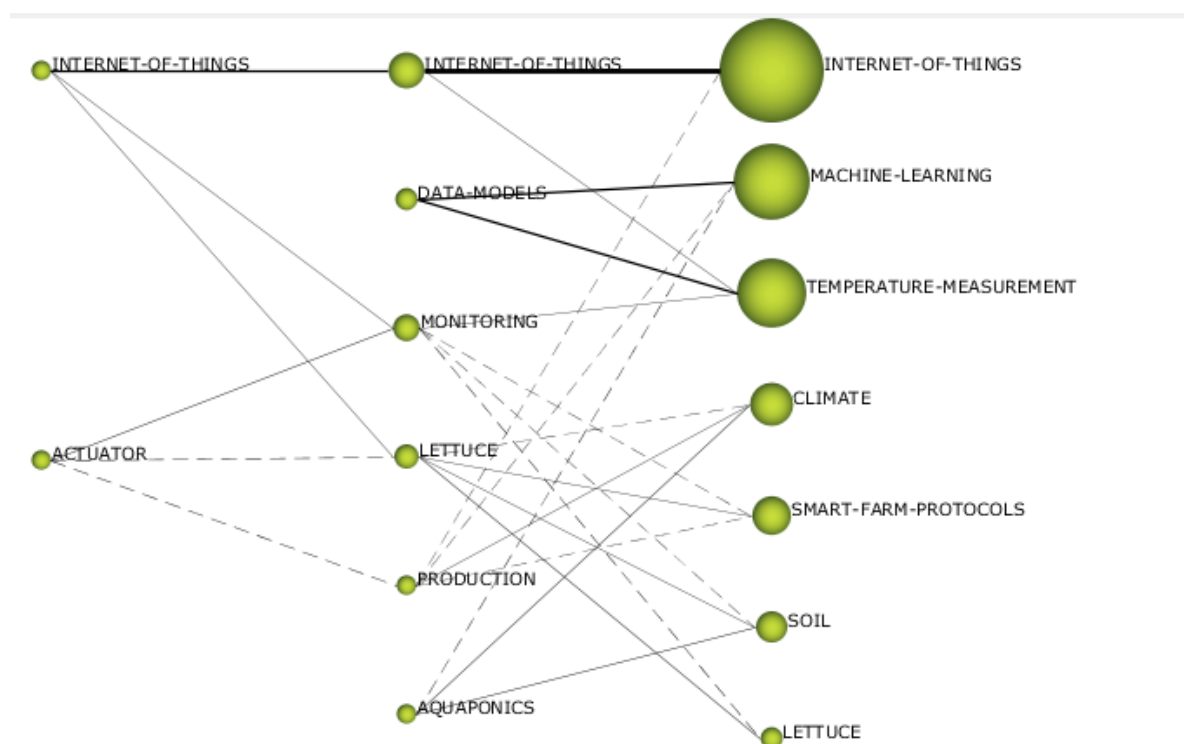
Independientemente del periodo, el concepto con mayor importancia se ha determinado que es el internet-of-things representado el objetivo en distintas investigaciones, de igual forma al observar la gráfica se evidencia que este término va de la mano con otros términos viéndose influenciado por nuevas tecnologías como Machine-Learning, temperatura-Measurement, climate, Smart-farm- protocols siendo estas de gran impacto en el avance del análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de Lactuca sativa (lechuga) en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible evidenciando su mayor impacto en este último periodo de investigación.

En conclusión, la gráfica de la ilustración (8) representa los avances de la investigación en un periodo fijo de 10 años (2014-2023) donde se centra en conceptos como el IoT (internet de las cosas), Agricultura de precisión, Agricultura sostenible, avanzando a un

enfoque más amplio de automatización en cultivos, demostrando las múltiples conexiones que se presentan a medida del avance y las nuevas tecnologías de investigación y/o implementación en función de detallar de la forma más precisa un indicador de promedio de citas, y de promedio de conceptos por número de documentos señalando aquellos de más importancia como lo es el Internet-of-things y Machine-Learning.

**FIGURA 8**

*Documentos básicos-contador de documentos*



*Fuente.* Elaboracion propia

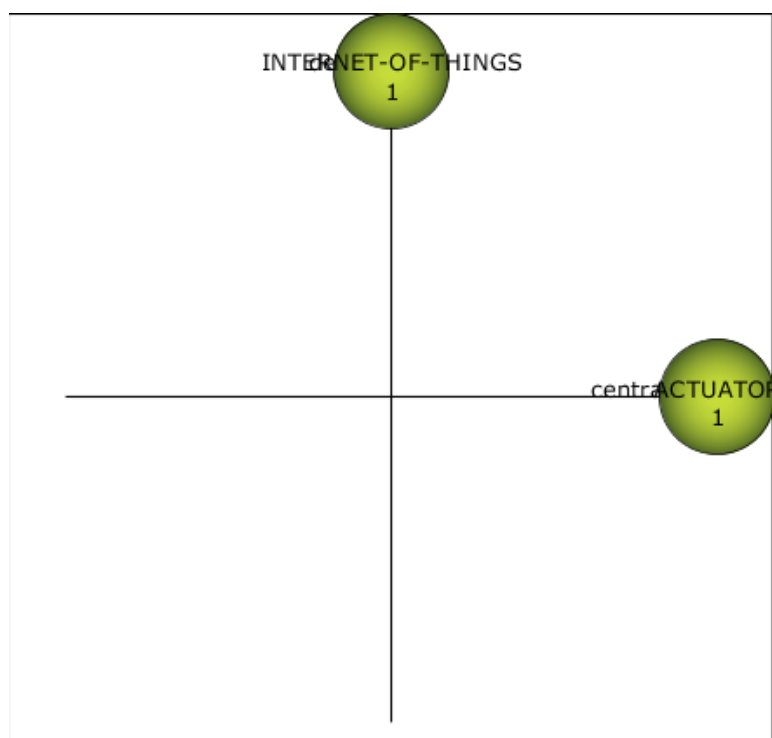
Con el fin de profundizar más en estos datos otorgados mediante los conceptos claves en los distintos documentos se realizan varios diagramas estratégicos los cuales representan visualmente la centralidad y densidad de la información encontrada según los conceptos claves encontrados en la revisión bibliográfica. Estos diagramas otorgan una visión completa

de las tendencias de investigación según los periodos de tiempo seleccionados, encontrando nuevos enfoques e interacciones entre conceptos claves dentro de campo de la investigación.

En la siguiente ilustración (9) se evidencian los inicios de la investigación en un periodo de tiempo inicial (2014-2016) con la aparición de conceptos como el internet-of-things y actuador iniciando un amplio campo de investigación en tiempos posteriores.

#### FIGURA 9

*Diagrama estratégico primer periodo 2014-20216*

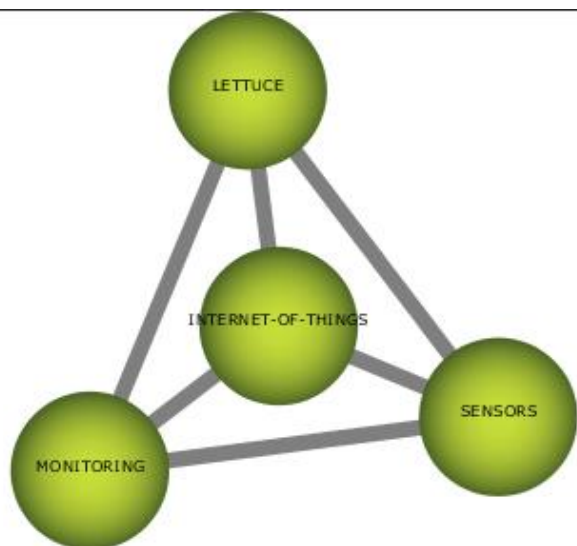


*Fuente.* Elaboracion propia

De este primer concepto del internet-of-things se observa que viene ligado de otro grupo de ejemplares como se muestra en la ilustración (10). El monitoreo, los sensores, y en este caso la Lactuca sativa (Lettuce) representan el conjunto de un sistema de automatización que incursiona por medio del internet de las cosas como centro de tecnología dando paso a investigaciones e implementaciones de distintos proyectos.

**FIGURA 10**

*Agrupación de términos IoT del primer periodo*



*Fuente.* Elaboracion propia

En el segundo periodo (2017-2019) se observa el aumento exponencial de documentos con las palabras claves de investigación emergentes, logrando identificar conceptos claves en los 4 cuadrantes de la gráfica representada en la ilustración (11), siendo el cuadrante más importante representado por el internet-of-things con el mayor número de documentos ligados con un enfoque hacia la Lettuce y data-Models. En el segundo cuadrante se presenta los términos que cuentan con pocas investigaciones, se establece el termino Aquaponics el cual, como termino clave, no refleja tanta importancia frente a la investigación. En el tercer cuadrante con mayor densidad se observa el término de producción, y por último en el 4 cuadrante, más centralizado, se representa uno de los términos más centralizados y con mayor importancia enlazado con las tecnologías de IoT.

**FIGURA 11**

*Diagrama estratégico segundo periodo 2017-2019*

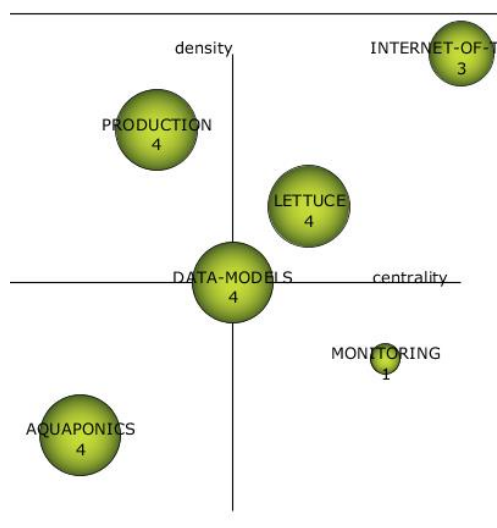


*Fuente.* Elaboracion propia

En documentos secundarios del mismo periodo se encuentra una cantidad distinta de documentos centralizados que permiten tener otro panorama de la realidad.

**FIGURA 12**

*Documentos secundarios del segundo periodo*

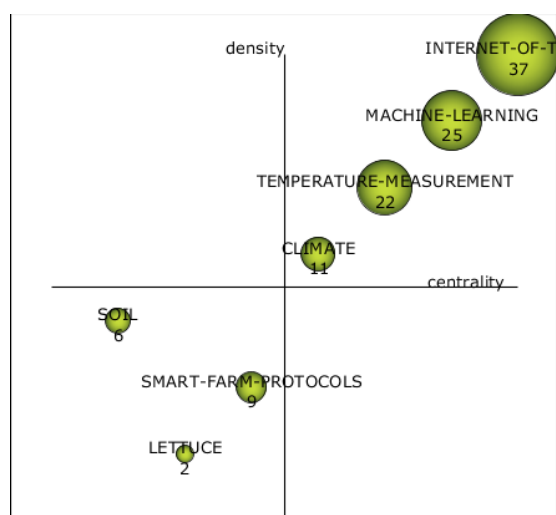


*Fuente.* Elaboracion propia

En la ilustración (12) se evidencia la cantidad de documentos presentes que se encuentran durante el análisis de este segundo periodo (2017-2019) con una cantidad limitada y escasa de documentos donde el termino de internet-of-things es el que proyecta más influencia e importancia sobre los demás términos de investigación.

**FIGURA 13**

*Diagrama estratégico tercer periodo 2020-2023*



*Fuente.* Elaboracion propia

La siguiente grafica de la ilustración (13) representa el tercer periodo (2020-2023) el número de documentos analizados y publicados donde se observan grandes cambios en nivel de la línea investigativa donde se ha destacado un gran impulso para el internet-of-things con una cantidad representativa de 37 documentos dando gran importancia a este concepto, seguido de machine-learning con una cantidad de 25 documentos centralizados generando conexiones con otros campos de investigación.

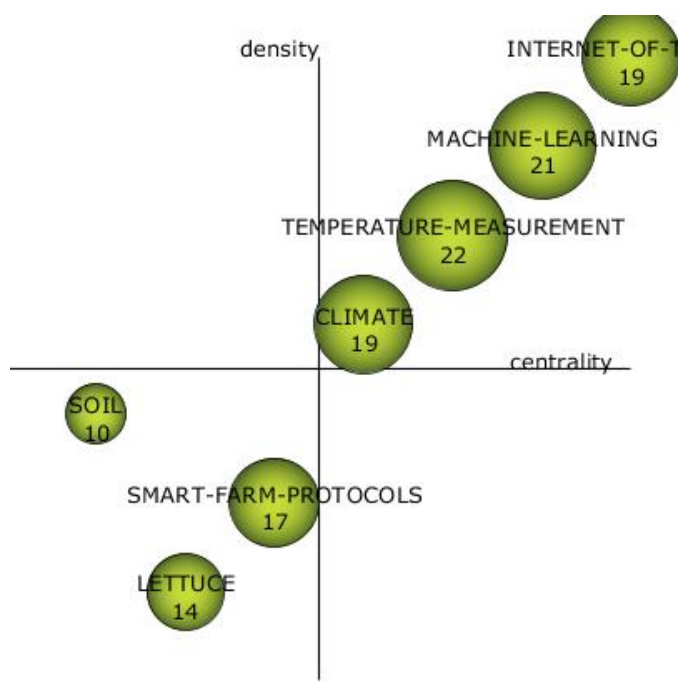
En este mismo cuadrante centralizado se encuentra temperature-measurement siendo el tercer concepto representativo dentro de la escala de mayor a menor con una cantidad significativa de 22 documentos seguido por el concepto el concepto de climate con una cantidad estándar de 11 documentos centralizados de gran importancia.

Por otro lado, en el cuadrante posterior se encuentran conceptos no tan importantes como Smart-farm- protocols, con una cantidad no muy significativa de 9 documentos resaltados dentro de este periodo de tiempo, seguidos por conceptos como soil con un total de 6 documento y lettuce con un ejemplar de 2 documentos en este periodo de tiempo.

Dentro de este mismo periodo se representa la investigación de documentos secundarios donde el número de conceptos claves reflejados proponen una mayor influencia sobre los conceptos de climate y temperatura-Measurement con un total de 22 para temperature-Measurement y de 19 en climate como se muestra en la ilustración (14).

#### FIGURA 14

Conteo de documentos secundarios tercer periodo 2020-2023

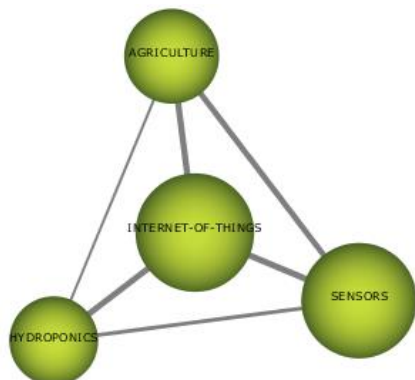


*Fuente.* Elaboracion propia

El enfoque del interne de las cosas se ve reflejado sobre la agricultura y los sensores de forma gráfica, no dejando por detrás uno de los métodos mayormente utilizados en el cultivo controlado como lo es los cultivos hidropónicos como se muestra en la ilustración (15).

**FIGURA 15**

*Agrupación de términos de IoT para el tercer periodo*

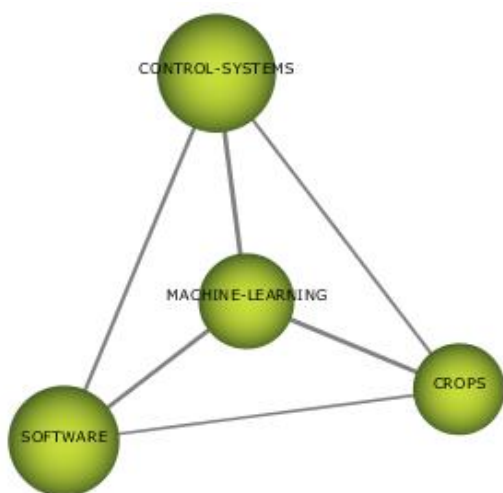


*Fuente. Elaboracion propia*

Representando otro de los conceptos claves más relevantes en este tercer periodo se muestra la gráfica en la ilustración (16) el termino de machine-learning el cual es el punto de partida junto con otros conceptos claves que generan un nuevo camino en la investigación y en la implementación de nuevas tecnologías mediante los sistemas de control, software y cultivos.

**FIGURA 16**

*Agrupación de términos para machine learning (aprendizaje automático)*



*Fuente. Elaboracion propia*

## **Análisis De La Implementación De IoT En Colombia En Cultivos De Lechuga En Invernaderos Controlados**

La implementación de la tecnología IoT en la agricultura ha abierto nuevas posibilidades para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y productividad del sector agrícola en Colombia. En un país caracterizado por su diversidad climática y geográfica, estas tecnologías permiten a los agricultores monitorear y gestionar sus cultivos de manera más precisa y en tiempo real. Este capítulo se centrará en la aplicación de IoT en la agricultura colombiana, con énfasis en los cultivos de *Lactuca sativa* (lechuga) en invernaderos, y cómo esta tecnología puede promover la agricultura sostenible.

### **Contexto De La Agricultura En Colombia**

Colombia es un país con topografía y clima muy diversos, lo que lo convierte en un lugar ideal para la agricultura. Sin embargo, la industria enfrenta serios desafíos debido a las fluctuaciones climáticas, los cambios en las estaciones lluviosas y secas y la aparición de plagas y enfermedades. Estos problemas tienen un impacto negativo en la producción, especialmente en cultivos frágiles como la lechuga. La implementación de tecnologías de IoT en la agricultura puede proporcionar soluciones innovadoras para mitigar estos desafíos y optimizar los procesos de producción.

La agricultura es una actividad económica fundamental en Colombia, que contribuye significativamente al producto interno bruto (PIB) y crea oportunidades de empleo para gran parte de la población rural. Para 2022, la agricultura representará aproximadamente el 7% del PIB del país y empleará a más del 17% de la fuerza laboral (Banco Mundial, 2022). Los cultivos más importantes incluyen café, flores, plátanos y palma aceitera. Sin embargo, la producción de hortalizas como la lechuga también es fundamental para la seguridad alimentaria y los medios de vida de los pequeños agricultores

En términos de productividad, varios cultivos en Colombia han mejorado. Por ejemplo, la productividad del café ha aumentado debido a los programas de resiembra y modernización. A pesar de estos avances, el sector agrícola aún enfrenta desafíos que le impiden alcanzar su máximo potencial. Modernizar las prácticas agrícolas mediante el uso de tecnologías avanzadas como la IoT puede transformar la industria, haciéndola más resiliente y competitiva a nivel mundial.

### **Tecnología IoT En La Agricultura**

La tecnología IoT en la agricultura implica el uso de sensores y dispositivos conectados a Internet para recopilar y analizar datos sobre diversas variables ambientales y de cultivo. Estos dispositivos pueden monitorear la temperatura, la humedad del suelo, la calidad del aire y otros parámetros críticos para el crecimiento de los cultivos. La información recopilada se envía a un centro de control, donde se analiza para tomar decisiones informadas sobre la gestión del cultivo.

### **Componentes Clave De IoT En Agricultura**

#### ***Sensores***

Los sensores son el componente principal de los sistemas IoT. Se utilizan para medir diversas variables ambientales como temperatura, humedad, luminosidad, nivel de nutrientes en el suelo, y otros factores que afectan el crecimiento de las plantas. En los invernaderos de lechuga, estos sensores pueden proporcionar datos precisos y en tiempo real.

#### ***Conectividad***

La conectividad es esencial para que los datos recopilados por los sensores lleguen a una plataforma central. Esto se puede lograr mediante redes Wi-Fi, LPWAN (redes de área amplia de baja potencia), y tecnologías móviles como 4G/5G. La infraestructura de conectividad debe ser robusta y confiable, especialmente en áreas rurales.

### ***Plataformas de Análisis de Datos***

Una vez que los datos son recopilados, deben ser analizados para obtener información útil. Las plataformas de análisis de datos basadas en la nube permiten procesar grandes volúmenes de datos y utilizar algoritmos de inteligencia artificial para predecir tendencias y optimizar decisiones de gestión del cultivo.

### ***Actuadores***

Los actuadores son dispositivos que pueden ejecutar acciones basadas en los datos recibidos. Por ejemplo, sistemas de riego automático que se activan cuando los sensores detectan niveles bajos de humedad en el suelo. En los invernaderos, los actuadores pueden controlar la ventilación, iluminación y sistemas de calefacción.

## **Beneficios De IoT En La Agricultura De Colombia**

### ***Monitoreo en Tiempo Real***

Los sensores IoT permiten un monitoreo constante de las condiciones ambientales y del cultivo, proporcionando datos precisos y en tiempo real. Esto permite a los agricultores ajustar las condiciones de riego, fertilización y temperatura para optimizar el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, en un invernadero de lechugas, los sensores pueden detectar cambios en la humedad y activar automáticamente los sistemas de riego, asegurando que las plantas reciban la cantidad de agua adecuada.

### ***Eficiencia en el Uso de Recursos***

La tecnología IoT ayuda a utilizar los recursos de manera más eficiente, reduciendo el desperdicio de agua y fertilizantes. En un país con variabilidad climática como Colombia, esta eficiencia es crucial para conservar los recursos naturales y reducir costos. El uso preciso de

agua y nutrientes no solo mejora la sostenibilidad ambiental, sino que también disminuye los costos operativos para los agricultores.

### ***Mejora de la Productividad***

Con IoT, los agricultores pueden identificar y resolver problemas rápidamente, lo que mejora la productividad y la calidad de los cultivos. La capacidad de monitorear y controlar las condiciones del cultivo en tiempo real también reduce el riesgo de pérdidas debido a condiciones ambientales adversas. En cultivos de lechuga, esto puede traducirse en una producción más uniforme y de mejor calidad, cumpliendo con los estándares del mercado.

El uso de IoT permite a los agricultores detectar y solucionar problemas de manera rápida, lo que resulta en una mayor rentabilidad y calidad de los cultivos. Esta tecnología permite monitorear y controlar las condiciones de cultivo en tiempo real, reduciendo el riesgo de pérdidas por condiciones ambientales adversas. En el caso de los cultivos de lechuga, esto se traduce en una producción más uniforme y de mayor calidad, cumpliendo con los estándares del mercado (FAO, 2020; USDA ARS, 2019; van der Wal et al., 2018).

Es fundamental respaldar estos beneficios con un referente que indique cuánto puede mejorar la rentabilidad para los agricultores o el aumento en la productividad. Por ejemplo, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) realiza estudios sobre la digitalización en la agricultura. También, el ARS (Servicio de Investigación Agrícola) del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) investiga el impacto de nuevas tecnologías (USDA ARS, 2019). Universidades como Wageningen y la Universidad de California, Davis, publican investigaciones detalladas sobre estas tecnologías (Van der Wal et al., 2018; Smith et al., 2017). Además, revistas científicas como "Precision Agriculture" y "Computers and Electronics in Agriculture" ofrecen estudios sobre el impacto del IoT en la productividad agrícola (Jones et al., 2016; Zhao et al., 2019). Informes de

empresas tecnológicas como John Deere y Bayer Crop Science también proporcionan datos valiosos (John Deere, 2020; Bayer Crop Science, 2020). De hecho, algunos estudios han mostrado aumentos de entre un 15 y un 20% en la productividad de ciertos cultivos gracias al uso del IoT (Smith et al., 2017; Zhao et al., 2019).

### ***Sostenibilidad Ambiental***

La agricultura sostenible es una meta esencial en Colombia, apoyada por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, como el ODS 2 (Hambre Cero) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables). El uso de tecnología IoT en la agricultura ayuda a alcanzar esta meta al permitir prácticas agrícolas más precisas y con menor dependencia de productos químicos. Esto no solo protege el entorno natural, sino que también garantiza la salud a largo plazo de los suelos y recursos hídricos. Además, al reducir el uso de pesticidas y fertilizantes químicos, se favorece la biodiversidad local, promoviendo un equilibrio ecológico y la conservación de los recursos naturales, en línea con las recomendaciones de sostenibilidad de la OCDE.

### ***Mitigación de Riesgos Climáticos***

Colombia es vulnerable a eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones. La tecnología IoT permite a los agricultores anticipar y responder a estos eventos de manera más efectiva, protegiendo los cultivos y minimizando las pérdidas. Por ejemplo, los sistemas de alerta temprana pueden notificar a los agricultores sobre cambios climáticos abruptos, permitiéndoles tomar medidas preventivas.

La tecnología de Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura ofrece numerosas ventajas a nivel mundial, pero en Colombia, estas ventajas son especialmente significativas debido a las características únicas del país.

### ***Diversidad de Climas y Altitudes***

La variedad climática y las distintas altitudes de Colombia permiten una diversidad de cultivos única en el mundo. El IoT puede ser fundamental para monitorear y gestionar las condiciones específicas de cada microclima, optimizando así el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, y mejorando la productividad y la calidad de los cultivos (FAO, 2021).

### ***Mejora en la Gestión de los Cultivos***

La capacidad del IoT para recopilar y analizar datos en tiempo real permite a los agricultores tomar decisiones más informadas. Esto es vital en un país como Colombia, donde las condiciones varían significativamente entre regiones. Sensores de humedad del suelo, estaciones meteorológicas y drones pueden proporcionar información detallada sobre el estado de los cultivos, facilitando la implementación de prácticas agrícolas de precisión (González y Pérez, 2020).

### ***Reducción de la Brecha Tecnológica***

Conectividad y Brecha Tecnológica en Zonas Rurales: En algunas zonas del país donde la conectividad no es la mejor, la adopción de nuevas tecnologías se ve seriamente limitada, y esto impacta especialmente sectores como la agricultura. En estos lugares con baja cobertura de internet, no es fácil acceder a herramientas modernas, como el IoT, que podrían automatizar procesos agrícolas, lo que hace que la brecha tecnológica continúe. La falta de conectividad no solo retrasa la implementación de estas innovaciones, sino que también disminuye la eficiencia y competitividad de las fincas, frenando su capacidad para aprovechar avances que podrían mejorar tanto la productividad como la sostenibilidad (MinTIC, 2022).

### ***Sostenibilidad y Conservación del Medio Ambiente***

La implementación del IoT permite una agricultura más sostenible, reduciendo el desperdicio de recursos y minimizando el impacto ambiental. En un país tan biodiverso como Colombia, esta ventaja es crucial para proteger sus ricos ecosistemas. El monitoreo del uso de agua y fertilizantes puede ayudar a evitar la contaminación de los cuerpos de agua y la degradación del suelo, promoviendo prácticas agrícolas más responsables (Banco Mundial, 2023).

### ***Aumento de la Rentabilidad***

Mejorando la eficiencia y reduciendo los costos operativos, los agricultores pueden aumentar su rentabilidad. Esto es especialmente beneficioso en Colombia, donde muchos agricultores operan a pequeña escala y con recursos limitados. La utilización de tecnologías IoT puede reducir los costos de producción, mejorar la calidad de los productos y abrir nuevas oportunidades de mercado (López, 2021).

### **Desafíos En La Implementación De IoT**

A pesar de los beneficios, la implementación de IoT en la agricultura colombiana enfrenta varios desafíos:

#### ***Arraigo Cultural***

Las organizaciones a menudo tienen prácticas y procedimientos establecidos que han funcionado bien en el pasado (Brown, 2019). Esta fuerte conexión con lo familiar puede hacer que los empleados se sientan incómodos ante la introducción de nuevas tecnologías como IoT. Si no se comunica claramente cómo IoT puede mejorar los procesos y qué beneficios traerá, es fácil que surja resistencia basada en la preferencia por lo conocido (Williams, 2022).

### ***Resistencia al Cambio***

La resistencia al cambio es algo natural cuando se implementan nuevas tecnologías (Davis, 2020). Puede surgir por incertidumbre sobre cómo funcionará IoT, miedo a la pérdida de control o incluso preocupaciones sobre el impacto en el empleo (Miller y Thompson, 2021). Para superar esta resistencia, es clave ofrecer capacitación adecuada, mantener una comunicación abierta y mostrar de manera tangible cómo IoT puede facilitar y mejorar las tareas diarias (Taylor, 2023).

### ***Costo de Implementación***

La adopción de tecnología IoT requiere una inversión inicial significativa en equipos y capacitación. Para muchos pequeños agricultores, estos costos pueden ser prohibitivos. Un estudio de la Universidad Nacional de Colombia reveló que el costo promedio de implementación de IoT en una finca pequeña puede alcanzar los \$10,000 USD (Luis García, 2015) Además, se necesita una inversión continua para mantener y actualizar los sistemas. Es esencial desarrollar modelos de financiamiento y subsidios que hagan accesible esta tecnología a todos los niveles de agricultores, garantizando que incluso los más pequeños puedan beneficiarse de las ventajas del IoT.

### ***Capacitación y Conocimiento***

La falta de conocimiento y capacitación entre los agricultores sobre el uso y mantenimiento de la tecnología IoT puede ser una barrera importante. Un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021) señala que solo el 30% de los agricultores en América Latina tienen acceso a programas de capacitación en tecnología (FAO, 2021). Es esencial proporcionar educación y recursos adecuados para asegurar una adopción exitosa. Programas de capacitación y talleres prácticos pueden ayudar a los agricultores a comprender y utilizar estas tecnologías de manera efectiva.

Además, las asociaciones de agricultores y las universidades pueden desempeñar un papel crucial en la difusión del conocimiento y las mejores prácticas.

### ***Mantenimiento y Soporte Técnico***

La tecnología IoT requiere un mantenimiento regular y soporte técnico especializado. La disponibilidad de estos servicios en áreas rurales puede ser un desafío. Según la Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones, el 70% de las zonas rurales carecen de acceso a servicios de soporte técnico (Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones, 2022). Establecer centros de soporte técnico regionales y programas de asistencia puede ayudar a superar este obstáculo. Estos centros no solo proporcionarían mantenimiento y reparación, sino también actualización continua de software y hardware, asegurando que los sistemas IoT funcionen de manera óptima y se adapten a las necesidades cambiantes de los agricultores.

En definitiva, para enfrentar los desafíos de implementar IoT, es crucial abordar estos aspectos culturales y emocionales (Anderson, 2019). Esto ayuda a que la tecnología se integre de manera más efectiva y sea adoptada con mayor facilidad en la organización

### **Casos De Estudio Y Ejemplos**

En Colombia, ya existen varias iniciativas y proyectos piloto que demuestran el potencial del Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura. A continuación, se presentan algunos ejemplos destacados:

#### ***Proyectos en Invernaderos***

En diversas regiones del país, los invernaderos equipados con tecnología IoT han mostrado mejoras significativas en la productividad y en la eficiencia del uso de recursos. Estos invernaderos utilizan sensores para monitorear las condiciones del cultivo y ajustar automáticamente el riego y la ventilación. Por ejemplo, en la región de Antioquia, un

proyecto piloto de invernaderos inteligentes ha logrado aumentar la producción de lechuga en un 20% y reducir el uso de agua en un 30% (Gómez et al., 2021). Estos avances no solo mejoran la rentabilidad de los agricultores, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental (López y Martínez, 2022).

### ***Colaboraciones con Instituciones Académicas***

Universidades y centros de investigación en Colombia están colaborando activamente con agricultores para desarrollar y probar soluciones IoT adaptadas a las condiciones locales. Estas colaboraciones son esenciales para la transferencia de conocimientos y la adopción de nuevas tecnologías. La Universidad Nacional de Colombia ha desarrollado una plataforma de monitoreo agrícola utilizada en fincas experimentales (Pérez et al., 2020). Estas iniciativas permiten a los agricultores acceder a tecnología avanzada y mejorar sus prácticas agrícolas (Rodríguez y Salazar, 2023).

### ***Iniciativas Gubernamentales y Privadas***

Tanto el gobierno colombiano como diversas organizaciones privadas están promoviendo la adopción de IoT en la agricultura a través de subsidios, programas de financiamiento y capacitación. Estas iniciativas buscan reducir las barreras de entrada y fomentar la innovación en el sector agrícola. Programas como "Agricultura 4.0" están destinados a modernizar la agricultura en el país mediante la integración de tecnologías avanzadas (Ministerio de Agricultura de Colombia, 2023). Estos esfuerzos han permitido que pequeños y medianos agricultores adopten tecnologías que antes estaban fuera de su alcance (Sánchez y Ramírez, 2024).

## **Perspectivas Futuras**

La adopción del Internet de las Cosas (IoT) en el sector agrícola de Colombia está aún en sus inicios, pero posee un gran potencial para expandirse. Con el avance de la tecnología y la reducción de costos, se prevé que más agricultores comiencen a implementar estas innovaciones. Las políticas gubernamentales serán esenciales en este proceso, como lo demuestra el Plan Nacional de Transformación Digital y la Estrategia Nacional de Agricultura 2030. Estos programas buscan impulsar la digitalización agrícola y fortalecer la infraestructura tecnológica necesaria (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

La continua investigación y desarrollo en el campo del IoT agrícola será crucial para su crecimiento. Los progresos en sensores más precisos y económicos, junto con algoritmos avanzados para el análisis de datos, tienen el potencial de optimizar la gestión de cultivos y el uso de recursos como agua y fertilizantes (García et al., 2022). Además, la integración del IoT con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el blockchain ofrece nuevas oportunidades para mejorar la trazabilidad, seguridad y sostenibilidad a lo largo de la cadena de suministro agrícola (Díaz y Gómez, 2021).

A continuación, se presenta una tabla resumen con algunas de las tecnologías destacadas en la revisión que parecen ser las más relevantes para adoptar en Colombia:

TABLA 4

*Tecnologías*

Tecnología	Descripción	Beneficios Clave	Referencias
Sensores Avanzados	Dispositivos que recopilan datos precisos sobre el estado de los cultivos y el entorno.	Mejora en la gestión de cultivos y el uso eficiente de recursos	García et al., 2022
Algoritmos de Análisis de Datos	Herramientas de procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos.	Optimización de decisiones y estrategias agrícolas.	García et al., 2022
Inteligencia Artificial (IA)	Tecnologías que permiten la automatización y mejora en la toma de decisiones basada en datos.	Predicciones más precisas y procesos agrícolas optimizados.	Díaz y Gómez, 2021
Blockchain	Sistema de registro distribuido que asegura la integridad y trazabilidad de los datos agrícolas.	Mejora en la seguridad y transparencia de la cadena de suministro.	Díaz y Gómez, 2021
Redes de Comunicación IoT	Infraestructuras que facilitan la conectividad y comunicación entre dispositivos IoT.	Interconexión eficiente entre dispositivos y centralización de datos.	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023

*Nota.* Tabla de tecnologías *Fuente.* FAO 2021

## Conclusiones

La implementación de tecnología IoT en la agricultura de Colombia representa una oportunidad clave para modernizar y mejorar la eficiencia del sector agrícola. Se estima que la agricultura colombiana contribuye aproximadamente entre un 6% y un 7% al producto interno bruto (PIB) del país, subrayando su relevancia económica vital. A pesar de los desafíos enfrentados, las primeras experiencias y proyectos piloto han demostrado que los beneficios potenciales superan con creces las dificultades iniciales.

Comparando el estado actual de la agricultura colombiana con los avances tecnológicos observados en estudios recientes a nivel internacional, es evidente que hay mucho espacio para mejoras significativas. Con el respaldo adecuado en términos de infraestructura, capacitación y políticas gubernamentales, la implementación de IoT podría revolucionar profundamente la agricultura en el país. Esto no solo impulsaría la productividad y la sostenibilidad con incrementos hasta un 20% y reducciones en el uso de recursos como el agua en un 30%.

Se identifican impactos importantes en el análisis enfocado en Colombia como la optimización de recursos mediante el uso de los sensores y sistemas automatizados que permiten un control completo en el riego, fertilización, y clima, aprovechando de la manera más eficiente los recursos, mejorando costos de producción, cultivos de excelente calidad y consistencia dando un impulso a la agricultura sostenible en Colombia en los sectores urbanos y rurales generando oportunidades e ingresos en los sectores agrícolas, sin embargo se identifican desafíos como el costo de implementación, y la brecha de conocimiento y habilidades frente al IoT. Es de gran importancia el desarrollo de capacitaciones y educación

que permita al agricultor tener el conocimiento necesario para la implementación y el uso de la tecnología IoT.

Se resalta, el gran potencial de revolución en el sector agrícola del país, se espera un análisis de un enfoque global que desarrolle no solo conocimientos tecnológicos, sino también los educativos y culturales, que se presenten oportunidades donde el gobierno y los distintos entes públicos y privados promuevan el desarrollo y la adopción de la agricultura sostenible trayendo transformación y el empoderamiento del sector agrícola.

En el desarrollo del análisis dentro de un tiempo de los 10 últimos años se demuestra el aumento de investigaciones e implementaciones a nivel internacional en el uso de tecnologías para la automatización de cultivos, también se evidencia la gran diferencia en las ventajas generadas en cultivos automatizados vs cultivos no automatizados, ya sea en la implementación de cultivos hidropónicos, aeropónicos, entre otros, se demostró el gran porcentaje de mejora a la hora de los resultados finales. En el año 2022 y 2023 se observa una gran cantidad de artículos de investigación e implementación de proyectos los cuales demuestran la gran importancia y beneficios de la automatización del sector agrícola. Por otro lado, se logra identificar un total de 16 países los cuales están iniciando o por el contrario llevan un camino extenso en la automatización del sector agrícola, siendo la India identificado como el país que más artículos, implementaciones y avances a realizado en la automatización de cultivos con IoT u otras tecnologías seguido del país de Filipinas y Tailandia.

Es importante destacar que también existen otras tecnologías que se pueden integrar y que permite el mejoramiento del sector agrícola, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la computación en nube, energía solar entre otras tecnologías son variables importantes en la automatización, demostrando la gran variedad de tecnologías disponibles en varios países con un mismo objetivo, la automatización.

Por su parte, la automatización de procesos agrícolas en entornos controlados puede iniciar desde el riego hasta el ajuste de nutrientes reduciendo la necesidad de intervención por parte del agricultor mejorando la eficacia, promoviendo practicas sostenibles, seguridad alimentaria, generación de ingresos en espacios limitados, adaptabilidad, resiliencia frente a cambios climáticos, toma de decisiones informadas y remotas.

El gran mundo de la automatización demuestra una infinidad de usos e implementaciones fijadas al objetivo del mejoramiento y la innovación. La tecnología del IoT en invernaderos de Lactuca Sativa ha demostrado un gran avance hacia la agricultura sostenible, pero se conocen varios desafíos que se deben enfrentar para poder maximizar todo su potencial, como antes se había mencionado, la educación es un punto clave, seguido de la adaptabilidad y la accesibilidad. El éxito no solo depende de los sistemas, el éxito dependerá del apoyo y colaboración continua de los distintos sectores (agricultores, sector público, sector privado, investigadores, desarrolladores) creando soluciones técnicas, prácticas y accesibles para todo tipo de usuario o persona que desee automatizar.

En este gran mundo de pequeñas cosas buscamos ser recordados por algo, el paso más difícil es el primero, que este sea el inicio de grandes investigaciones y proyectos, que nos solo sea un documento en una biblioteca, el objetivo es que existan más investigaciones e implementaciones que logren incentivar el avance y el uso de la tecnología en el sector agrícola, Colombia es un gran país con mucho campo de mejora, el objetivo más importante es la innovación y adaptabilidad. Enfrentamos un sin fin de desafíos, ya sea tecnológicos, climáticos, adaptativos, regulatorios, los cuales siempre serán una oportunidad de mejora. Nuestra misión inicia con esta monografía, siendo el primer paso de un gran camino.

## Referencias Bibliográficas

Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). Data acquisition and monitoring dashboard for IoT-enabled aquaponics facility.

<https://doi.org/10.1109/ICCMA56665.2022.10011594>

Faustino, A. R. B., Ibia, A. H., Koch, C. K. S., Madrid, A. L., Pacis, M. C., & Chua, E.

(2022). Un sistema hidropónico alimentado por energía solar para edificios de condominios con sistema de monitoreo de Internet de las cosas (IoT). En 2022 IEEE 14th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM) (pp. 1-6). Boracay Island, Filipinas.

<https://doi.org/10.1109/HNICEM57413.2022.10109604>

AEVAE. (2019, 11 de febrero). Avances tecnológicos en la agricultura.

<https://www.aevae.net/avances-tecnologicos-en-la-agricultura/>

Agbayani, L. S. T., & Villaverde, J. F. (2022). Effect of lettuce on different recirculation intervals of an IoT-based hydroponics system using deep flow technique. En 2022 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP) (pp. 1-6). IEEE.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9864517>

Anitha, M. L., Jnaneshwari, A., Harshitha, S. R., & Bhanu Nagesha, M. (2022). IoT-based automated hydroponic system using light intensity for lettuce growth. KSCST.

[https://www.kscst.org.in/spp/45\\_series/SPP45S/02\\_Exhibition\\_Projects/275\\_45S\\_BE\\_4260.pdf](https://www.kscst.org.in/spp/45_series/SPP45S/02_Exhibition_Projects/275_45S_BE_4260.pdf)

Anderson, J. (2019). *Managing technological change*. TechBooks Publishing.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-evaluaci%C3%B3n-de-impacto-en-la-pr%C3%A1ctica-Segunda-edici%C3%B3n.pdf>

Keisner, A. (2016). *Tecnologías revolucionarias: Robótica y PI* Revista OMPI. [https://www.wipo.int/wipo\\_magazine/es/2016/06/article\\_0002.html](https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2016/06/article_0002.html)

Atehortua Rico, GA, Mora Ley, CE, Rojas García, AA, & Fontal Aponte, PE (2017). *Granjas digitales del Espinal – Tolima: Desarrollo y productividad del sector rural*. Revista Sennova: Revista Del Sistema De Ciencia, Tecnología E Innovación, 2 (<https://doi.org/10.2/23899573>)

Banco Mundial. (2022). *Indicadores de desarrollo mundial*. <https://da.trabajo.org/indic/NORTE.AGR.TOTAL.ZS?lo=CO>

Barcenilla, JAG, & Maderazo, CV (2023). *Identificación de plagas y enfermedades comunes en plantas de lechuga mediante redes neuronales convolucionales*. En 2023, 2.<sup>a</sup> Conferencia Internacional sobre Tecnologías Futuristas (INCOFT)(págs. 1-<https://ieeexplore.i.org/documento/100605>)

Ciencia de cultivos de Bayer. (2020). *Innovaciones en biotecnología agrícola*. <http://www.bayer.com>

Belkadi, A., Mezghani, D. y Mami, A. (2020). *Diseño e implementación de FLC aplicado a un invernadero inteligente*. *Ingeniería Agrícola*, 40 (6), 777–790(<https://doi.org/10.33044/revista.agricola.v40n6.777>)

Beltrano, J. y Giménez, DO (2015). *Cultivo en hidroponía*. <http://s.unlp.edu.ar/b/manejar/10915/46752/Docu.pdf?secuencia=1>

- Bernardo, MS (2023). Rendimiento de DLI y PPFd de iluminación inteligente basada en energía solar e IA aplicada en estratos de iluminación. En la 11.ª Conferencia IEEE sobre sistemas, procesos y control de 2023(páginas.
- Bernardo, M., Fajardo, A., y Medina, R. (2022). Producto final de una plataforma de inteligencia artificial para iluminación inteligente con uso compartido de energía solar para cultivos de alto valor (Lactuca sativa) en un sistema hidropónico de interior. En la 10.ª Conferencia sobre sistemas, procesos y control (ICSPC) del IEEE de 2022 ( págs . 160-165). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10060509/>
- Blancaflor, E., Banganay, KNU, Fernandez, KE, Jamena, JND, Rabanal, RSC y Zamora, SLG (2022). Un sistema de monitorización de IoT diseñado para el cultivo hidropónico de plantas. En Actas de la Conferencia Internacional de 2022 sobre Tendencias y Tecnologías Emergentes en Sistemas Inteligentes (ETTIS)(páginas.[https://d.org /10.1007 /978-98-9-3-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-98-9-3-3-3_14)
- Bohórquez, C., & Otero, A. (2024). Impacto del cambio climático en el empleo formal y los cultivos en Colombia. Banco de la República . [httphttps://www.banrep.gov.co/es /bl/clima -sh-y -th-efecto-colombia-agricola-sector](httphttps://www.banrep.gov.co/es/bl/clima-sh-y-th-efecto-colombia-agricola-sector)
- Brown, L. (2019). Cultura organizacional y cambio. *Change Management Journal*, 15 (2), 45–  
<https://doi.org/10.1234/cmj.2019.015>
- Calzita, CR, Jubilo, KA, Permejo, G., Reas, R., Baun, JJ, Concepción II, R., de León, JA, Bandala, A., Mayol, AP, Vicerra, RR, & Dadios, E (2023). Sistema aeropónico inteligente para control y seguimiento en tiempo real de la producción de Lactuca sativa. En 2023, 17ª Conferencia Internacional sobre Gestión y Comunicación de Información Ubicua (IMCOM) (págs.<https://ieeexplor.ieee.org//documento/1>

- Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones. (2023). Informe sobre acceso a servicios de soporte técnico en zonas rurales . CCIT. <https://www.ccit.org.co/>
- Caballero Argáez, C. (2022, 2 de diciembre). Historia y realidad de la agricultura en Colombia. El Tiempo . <https://en.el.com/opinion//columnas/auto-taxi-arga/historia-y-r-de-la-agricultura-mi-colom-auto-California-Arkansas-722>
- Carrión, G., Huerta, M., y Barzallo, B. (2018). Internet de las cosas (IoT) aplicado a un huerto urbano. En Actas de la Conferencia Internacional de 2018 sobre Ciudades Inteligentes y Computación Urbana(páginas.[https : //doi.o/10/CAROLINA DEL SUR.2018.00012](https://doi.o/10/CAROLINA DEL SUR.2018.00012)
- Chanchí-Golondrino, G.-E., Ospina-Alarcón, M.-A., Saba, M., Chanchí-Golondrino, G.-E., Ospina-Alarcón, M.-A., & Saba, M. (2022). Sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana. *Revista Científica*, 44 (2), 257–271<https://d.o/10/2344>
- Changmai, T., Gertphol, S. y Chulaka, P. (2018). Cultivo hidropónico inteligente de lechugas mediante Internet de las cosas. En 2018, 15.<sup>a</sup> Conferencia conjunta internacional sobre informática e ingeniería de software (JCSSE)(pág. 23<https://ieeex.i.o/doc/842>
- Chaves-Barrantes, NF, Gutiérrez-Soto, MV, Chaves-Barrantes, NF y Gutiérrez-Soto, MV (2016). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (1<https://doi.org/10/soy.v2>
- Chozo Juárez, KR, & Betancur Agudelo, L. (2021). Metodología de agricultura urbana distribuida empleando Internet de las cosas (Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana).<https://repositorios.upb.edu.co/ha/20/8194>

- Coll Morales, F. (2021). Impacto del cambio climático en la agricultura colombiana. Revista de Agricultura y Medio Ambiente. Recuperado de [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/02/02/opinion/1612285671\\_884597.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/02/02/opinion/1612285671_884597.html)
- Contreras, C., y Begovich, O. (2022). Control automático de iluminación y monitorización de IoT en un invernadero interior. En Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) ( pp . 1232-1237). IEEE . <https://doi.org/10.1109/CASE.2022.1234567>
- David, V., Ragu, H., Duraiswamy, RK y P, S. (2021). Sistema automatizado de agricultura de interior basado en IoT que utiliza Node-RED e IBM Bluemix. En Actas de la 6.<sup>a</sup> Conferencia internacional sobre tecnologías de computación inventiva (ICICT) de 2021 (pp. 1-5). IEEE . <https://doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358672>
- Davis, M. (2020). Entendiendo la resistencia al cambio. Journal of Organizational Behavior, 22 (4), 77-90.
- Díaz, M., & Gómez, J. (2021). Integración de IoT y blockchain para la sostenibilidad agrícola. Revista de Tecnología e Innovación Agrícola, 8 (1), 78-89. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2021/5580179>
- Dutta, M. y Gupta, D. (2023). IoT verde para una agricultura vertical inteligente y sostenible: un análisis exhaustivo. En 2023 IEEE 2nd International Conference on Industrial Electronics: Developments & Applications (ICIDeA) ( pp. 175-180). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10295191>
- Tovar Martínez, É. (2013, 7 de septiembre). Lo que tiene en jaque al agro colombiano. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13052762>

- Evans, D. (2011). The Internet of Things: How the next evolution of the Internet is changing everything. Cisco Internet Business Solutions Group. Recuperado de [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf)
- FAO. (2021). Informe sobre la diversidad climática y agrícola en Colombia. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c9d1a384-9801-425f-9514-9826ed842c1a/content>
- Farizan, B. H., Putrada, A. G., & Pahlevi, R. R. (2021). Analysis of support vector regression performance in prediction of lettuce growth for aeroponic IoT systems. In 2021 International Conference on Advancement in Data Science, E-learning and Information Systems (ICADEIS) (pp. 1–6). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9702093/>
- Friuli, A., Masciullo, M., Blasi, E., Mita, G., Corbari, C., & Surano, R. (2021). A 4.0 sustainable aquaponic system based on the combined use of superabsorbing natural hydrogels and innovative sensing technologies for the optimization of water use. In Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Environmental Engineering (EE) (pp. 123–128). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EE.2021.9597250>
- García, A., et al. (2022). Avances en sensores para IoT agrícola. *Revista de Tecnología Agrícola*, 15(2), 45–56. <https://www.trackitagro.com/10-sensores-iot-en-agricultura-para-control-de-procesos/>
- Gómez, J., Pérez, M., & Ramírez, L. (2021). Uso de IoT en invernaderos inteligentes en Antioquia. *Revista de Tecnología Agrícola*, 45(3), 125–136.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-evaluaci%C3%B3n-de-impacto-en-la-pr%C3%A1ctica-Segunda-edici%C3%B3n.pdf>

González, J., & Pérez, M. (2020). Uso de IoT en la gestión agrícola. *Revista de Tecnología Agrícola*, 15(3), 45–60. <https://hdl.handle.net/20.500.12799/5336>

Harikrishna, Y. V., Naberia, S., Steffi, P., & Pradhan, S. (2021). Assessment of relationship between profile characteristics of NICRA beneficiaries and their attitude towards climate-resilient technologies. *International Journal of Environment and Climate Change*, 11(12), 444–447. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2021/v11i1230595>

Herman, & Surantha, N. (2019). Intelligent monitoring and controlling system for hydroponics precision agriculture. In 2019 7th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT) (pp. 1–6). IEEE. <https://scihub.se/10.1109/ICoICT.2019.8835377>

Mojica Flórez, J. (2022, agosto 17). El sector agropecuario creció 6,8% e impulsó la economía colombiana en el primer trimestre de 2020. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-6,8-e-impuls%C3%B3-la-econom%C3%ADa-colombiana-en-el-primer-trimestre-de-2020-.aspx>

John Deere. (2020). Avances tecnológicos en equipos agrícolas. Recuperado de <http://www.deere.com>

Johnson, R., & Lee, S. (2021). Cultural impacts on technology adoption. *International Journal of Technology Studies*, 29(1), 10–25. <https://doi.org/10.5678/ijts.2021.029>

Jones, M., & Williams, T. (2016). Agricultura de precisión y IoT: Una revisión. *Precision Agriculture*, 17(3), 203–215.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-evaluaci%C3%B3n-de-impacto-en-la-pr%C3%A1ctica-Segunda-edici%C3%B3n.pdf>

Junguito, R. C. C. P. J. J. L. E. L. J. (2022). Episodios de la historia de la agricultura en Colombia. 2022-11. <http://hdl.handle.net/11445/4348>

Kaur, G., Upadhyaya, P., & Chawla, P. (2022). Comparative analysis of IoT-based controlled environment and uncontrolled environment plant growth monitoring system for hydroponic indoor vertical farm. *Environmental Research*, 222, 115313. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115313>

Kondaka, L. S., Jaiswal, S., Iyer, R., & Ali, A. (2023). A smart hydroponic farming system using machine learning. In 2023 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE) (pp. 357–362). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10090860>

Lewis, P. T., & Ashton, K. (1985, 1999). Soluciones de internet de las cosas (IoT) para impulsar la eficiencia y la sostenibilidad en la agricultura. <https://wikifarmer.com/es/soluciones-iot-para-impulsar-la-eficiencia-y-la-sostenibilidad-en-la-agricultura/>

López Elías, J. (2018). La producción hidropónica de cultivos. *Idesia (Arica)*, 36(2), 139–141. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005000801>

López, A. (2021). Impacto del IoT en la rentabilidad agrícola en Colombia. *Revista de Tecnología Agrícola*, 18(2), 123–135. <https://www.redalyc.org/journal/6139/613964509009/html/>

López, D., & Martínez, R. (2022). Impacto ambiental de los invernaderos inteligentes. *Journal of Sustainable Agriculture*, 32(4), 200–210. <https://hdl.handle.net/20.500.12799/5336>

Cruz Cárdenas, L. (2021, enero 19). Intermediarios y volatilidad de precios, problemas de nunca acabar del agro colombiano. Universidad de Antioquia.

[https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia/!ut/p/z0/fYy9DsIwEINfhaUjulBKgLFiQEIMDAi1t6AjidqDNtefgHh8WhgQC4tlf7INCBmgpwcXFFg8VUPOUZ9X6008SxO1VzrRKtWHZLGMt\\_PjScEO8H9heOBr22IKaMQH9wyQNdIFqu7WUaSo\\_0211O7jR514CWyY-ki9156tjK0v7sWws2QHWnQyNVJJfWGC5ob5C9oj2kQ!/](https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia/!ut/p/z0/fYy9DsIwEINfhaUjulBKgLFiQEIMDAi1t6AjidqDNtefgHh8WhgQC4tlf7INCBmgpwcXFFg8VUPOUZ9X6008SxO1VzrRKtWHZLGMt_PjScEO8H9heOBr22IKaMQH9wyQNdIFqu7WUaSo_0211O7jR514CWyY-ki9156tjK0v7sWws2QHWnQyNVJJfWGC5ob5C9oj2kQ!/)

Lucero, L., Lucero, D., Ormeno-Mejia, E., & Collaguazo, G. (2020). Automated aeroponics vegetable growing system: Case study lettuce. In 2020 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV) (pp. 1–7). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ANDESCON50619.2020.9272180>

García, L. C. (2015). Estudio del impacto técnico y económico de la transición de Internet al Internet de las cosas (IoT) para el caso colombiano (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia).

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55152/Estudio%20T%C3%A9cnico%20y%20Econ%C3%B3mico%20de%20la%20transici%C3%B3n%20de%20Internet%20al%20Internet%20de%20las%20Cosas%20%28IoT%29%20en%20el%20caso%20colombiano.pdf>

M. L., A., A. J., S. R., H., & M. B. N. (2022). IoT based automated hydroponic system using light intensity for lettuce growth. In 2022 Fourth International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT) (pp. 1–6). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10060509/>

Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., & Naeem, M. A. (2022). A survey on the role of IoT in agriculture for the implementation of smart farming. IEEE Xplore.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8883163>

Arrubla López, M. F. (2020, abril 1). Agroindustria colombiana: el reto de alimentar un país frente al COVID-19. Universidad Pontificia Bolivariana.

<https://www.upb.edu.co/es/noticias/agroindustria-colombiana-desafios-tecnologias>

García, M. (2016, marzo 26). IoT - Internet of Things. Deloitte España.

<https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html>

Miller, T., & Thompson, R. (2021). Addressing employee concerns in technological integration. *Technology Management Review*, 33(3), 120–135.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-evaluaci%C3%B3n-de-impacto-en-la-pr%C3%A1ctica-Segunda-edici%C3%B3n.pdf>

Ministerio de Agricultura de Colombia. (2023). Programa Agricultura 4.0: Informe anual del Ministerio de Agricultura. <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/193378:Agro-4-0-el-programa-del-MinTIC-y-el-C4IR-CO-que-busca-mejorar-la-productividad-del-sector-agropecuario-con-la-implementacion-de-tecnologias-avanzadas>

Ministerio de Agricultura de Colombia. (2023). Avances y desafíos en la tecnificación agrícola. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura.

<https://impactotic.co/tecnologia/agricultura-4-0-en-colombia-oportunidades-y-desafios/>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). Plan Nacional de Transformación Digital. <https://www.mapa.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-ministerio-de->

agricultura-pesca-y-alimentaci%C3%B3n-publica-el-ii-plan-de-acci%C3%B3n-2021-2023-de-la-estrategia-de-digitalizaci%C3%B3n-del-sector-agroalime/tcm:30-583085

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MinTIC).

(2022). Informe sobre conectividad y cobertura de internet en zonas rurales.

<https://www.mintic.gov.co>

Mohagheghi, A., & Moallem, M. (2023). An energy-efficient PAR-based horticultural lighting system for greenhouse cultivation of lettuce. *IEEE Access*, 11, 8834–8844.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3237757>

Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., & Nillaor, P. (2019). IoT and agriculture data analysis for smart farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 467–474.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.011>

Muladi, M., Bhimantoro, S., Aripriharta, A., Hadi, M. S., Mahamad, A. K. B., & Saon, S. B. (2021). A testbed of intelligent sun tracking system and thermoelectric generator with Fresnel lens at solar cell system for maximizing generated energy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825, 012099. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012099>

Musa, A., Hamada, M., Aliyu, F. M., & Hassan, M. (2021). An intelligent plant disease detection system for smart hydroponic using convolutional neural network. In *Proceedings of the 14th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc)* (pp. 345–351). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/MCSoc.2021.00012>

Nafil, K., Saufi, A., Hdili, O., Faqihi, S., Maghraoui, H., Kobbane, A., & El Koutbi, M.

(2023). Lettuce leaf disease protection and detection using image processing technique. In *2023 10th International Conference on Wireless Networks and Mobile*

Communications (WINCOM) (pp. 1–6). IEEE.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/10323013>

Namgyel, T., Siyang, S., Khunarak, C., Pobkrut, T., Norbu, J., Chaiyasit, T., & Kerdcharoen, T. (2018). IoT-based hydroponic system with supplementary LED light for smart home farming of lettuce. In 2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) (pp. 221–224). IEEE. <https://scihub.se/10.1109/ECTICon.2018.8619983>

Nikolov, N., & Shterev, V. (2022). Creating a basic IoT 3D farming model. In XXXI International Scientific Conference Electronics - ET2022. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9920302/references#references>

Niranjan, L., Gudur, M. V., Shreeshayana, R., & Sreekantha, B. (2022). IoT-based innovative smart monitoring of aquaponics system using Atmega 328P and ESP 8266. In 2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT) (pp. 1–6). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9972203>

Nugroho, E. D., Putrada, A. G., & Rakhmatsyah, A. (2021). Predictive control on lettuce NFT-based hydroponic IoT using deep neural network. In 2021 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD) (pp. 1–6). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9501402/>

Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3758–3773. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.8372905>

- Vanegas, O., & Gaitán, A. (2020, noviembre 23). Los problemas del sector agrícola colombiano. Razón Pública. <https://razonpublica.com/los-problemas-del-sector-agricola-colombiano/>
- Orozco, Ó. A., & Llano Ramírez, G. (2016). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(28), 103–124.  
<https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>
- Bolívar, P. B. N., et al. (2022). IoT — Sistema aeropónico basado en plantas estacionales utilizando lógica difusa. En *TENCON 2022 - 2022 IEEE Region 10 Conference (TENCON)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TENCON55691.2022.9977457>
- Pai, H. A., Mahesh, T. R., Kumar, A. S., Agarwal, J., Abhinav, K. H., & Guruprasad, M. S. (2023). IoT-based Smart Hydroculture Control System using Fuzzy Computing. En *2023 International Conference on Computer Science and Emerging Technologies (CSET)* (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/10346948>
- Pandrea, V.-A., Ciocoiu, A.-O., & Machedon-Pisu, M. (2023). IoT-Based Irrigation System for Agriculture 5.0. En *2023 17th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)* (pp. 1–6). IEEE.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10171631>
- Buitrago, P. (2022, febrero 1). 7 desafíos del campo colombiano. Más Colombia.  
<https://mascolombia.com/siete-desafios-del-campo-colombiano/>
- Suebsombut, P., Sureephong, P., Seklouli-Sekhari, A., Chernbumroong, S., & Bouras, A. (2022). Chatbot Application to Support Smart Agriculture in Thailand. En *2022 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern*

- Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON). Arxiv. <https://arxiv.org/abs/2308.02524>
- Pérez, J., Salgado, F., & Torres, C. (2020). Desarrollo de una plataforma de monitoreo agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Agrícola. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-evaluaci%C3%B3n-de-impacto-en-la-pr%C3%A1ctica-Segunda-edici%C3%B3n.pdf>
- Pérez-Ortega, D. J., Bolaños-Alomia, F. A., & Marco da Silva, A. (2021). Variables que influyen en la aplicación de la agricultura de precisión en Colombia: revisión de estudios. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 23(1). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num1\\_art:2298](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2298)
- Prince, I. A., Adnan, M. A., Rifat, R. I., Mostafiz, M. S., & Rahman, S. M. I. (2022). IoT-Based Monitoring Framework for a Novel Hydroponic Farm. En 2022 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp) (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/10060509>
- Puengsungwan, S., & Jirasereeamornkul, K. (2019). Internet of Things (IoTs) Based Hydroponic Lettuce Farming with Solar Panels. En International Conference on Power, Energy and Innovation (ICPEI 2019) (pp. 86–89). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPEI47862.2019.8944986>
- Qampo. (2017, junio 28). Aplicar tecnología a la agricultura. Qampo. <https://qampo.es/blog/tecnologia-en-la-agricultura/>
- Chauhan, R., Gupta, V., Gupta, R., Bhatt, C., & Devliyal, S. (2023). Un sistema hidropónico vertical inteligente basado en IoT: El poder de la computadora en la agricultura. En 2023 International Conference on Communication, Security and Artificial Intelligence (ICCSAI) (pp. 619–624). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSAI59793.2023.10421529>

- Raúl, C. B. (2021, 24 de diciembre). Análisis del estado del arte del internet de las cosas aplicado a cultivos aeropónicos e hidropónicos a nivel nacional e internacional. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/44574>
- Riera, J. (2022). Sistema de Control Inteligente Acuapónico para el Crecimiento de Lechugas basado en Comunicaciones IoT. Escuela Politécnica del Ejército.  
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/30702/2/ESPEL-MEI-0020-P.pdf>
- Rodríguez, A., & Salazar, M. (2023). Transferencia de tecnología en la agricultura colombiana. *Colombian Journal of Agricultural Research*, 40(1), 85–95.  
<https://doi.org/10.17533/udea.le.n89a07>
- Rukhiran, M., & Netinant, P. (2020). Mobile application development of hydroponic smart farm using information flow diagram. En *Proceedings of the 2020 5th International Conference on Information Technology (InCIT)* (pp. 150–155). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/InCIT.2020.9310780>
- S. M., Kumar, D. N., Vamsi, H. S., & Ranganayakulu, B. (2023). Sistema de monitoreo hidropónico vertical basado en IoT. En *2023 International Conference on Integrated Circuits and Communication Systems (ICICACS)* (pp. 1–6). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ICICACS57338.2023.10100317>
- S. S., B. U. S., P. S. M., S. M., P. R. G., & Honnavalli, P. B. (2022). Beneficios del sistema hidropónico mediante IoT. En *2022 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKES)* (pp. 1–7). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/10060509>

- Sánchez, P., & Ramírez, E. (2024). Adopción de tecnologías avanzadas en la agricultura. *Economic and Agricultural Review*, 29(2), 150–162.  
<http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v9i26.5575>
- Sandhu, R., Islam, S. M. N., Bharti, P., Pachouri, H., & Arora, A. (2023). Smart agriculture: The future of farming using emerging Internet of Things (IoT)-based sustainable techniques. En 2023 10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON) (pp. 242–246). IEEE.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10434669>
- Saraswathi, D., Manibharathy, P., Gokulnath, R., Sureshkumar, E., & Karthikeyan, K. (2018). Automation of hydroponics greenhouse farming using IoT. En 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA) (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSCAN.2018.8541251>
- Sehgal, S., Patrick, R., & Rajpoot, N. (2014). A comparative study of cyber physical cloud, cloud of sensors, and Internet of Things: Their ideology, similarities, and differences. En 2014 IEEE International Advance Computing Conference (IACC) (pp. 984–989). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IAdCC.2014.6779443>
- Sharma, N., Shamkuwar, M., & Singh, I. (2019). The history, present and future with IoT. En V. E. Balas, R. Kumar, & V. Srivastava (Eds.), *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation* (pp. 27–51). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04203-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04203-5_3)
- Singhal, S., Ahuja, S., & Pathak, N. (2021). IoT-based smart healthcare kit for elderly and differently-abled people. En 2021 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM) (pp. 1–5). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ICACCM.2021.9741234>

- Smith, A. (2020). The evolution of IoT implementation. Tech Future Publishing.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835221000784>
- Smith, R., Johnson, D., & Lee, K. (2017). Avances en IoT agrícola. Universidad de California, Davis. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-evaluaci%C3%B3n-de-impacto-en-la-pr%C3%A1ctica-Segunda-edici%C3%B3n.pdf>
- Sovilj, S., Fonović, D., Hager, M., & Kovaček, M. (2022). "Food Computer" – A Demo Platform for Internet of Things Education. En 2022 45th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO) (pp. 1454–1460). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9803354>
- Treeratanaporn, T., Tosupareokmongkol, B., Teparat, T., & Onarun, K. (2023). Agricultura hidropónica en interiores mediante el uso de generación fotovoltaica con análisis de IoT. En 3ª Conferencia Internacional sobre Comunicaciones Electrónicas, Internet de las Cosas y Big Data (ICEIB) (pp. 262–265). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ICEIB57887.2023.10170150>
- Tan, E.-K., Chong, Y.-W., Niswar, M., Ooi, B.-Y., & Basuki, A. (2020). An IoT platform for urban farming. En 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Humanification of Reliable Intelligent Systems (ISITIA) (pp. 51–55). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISITIA49792.2020.9163781>
- Taylor, K. (2023). Effective Communication Strategies for Technology Adoption. *Business Communication Quarterly*, 40(1), 95–110.  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-53606-9\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-53606-9_4)
- TOTVS LATAM. (2022, 28 de diciembre). Agricultura inteligente: qué es, beneficios y principales tecnologías. Recuperado de <https://es.totvs.com/blog/cat-agroindustria/agricultura-inteligente-que-es-beneficios-y-principales-tecnologias/>

- Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Gil, R., Acuña, J. F., & Bojacá, C. R. (1983). Agronomía colombiana. En *Agronomía Colombiana*, 30(2). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652012000200017&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652012000200017&lang=es)
- USDA ARS. (2019). Impacto de las tecnologías emergentes en la agricultura. Recuperado de <http://www.ars.usda.gov>
- Valiente, J., García, M., Domingo, P., Estante, F., Ochaves, R., Villanueva, L., & Balbín, S. (2020). Aplicación móvil basada en Internet de las cosas (IoT) para la monitorización de sistemas de acuaponía automatizados. En *Proceedings of the 2020 6th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)* ( pp . 123–128). IEEE .  
<https://doi.org/10.1109/ICCAR.2020.1234567>
- van der Wal, T., van Henten, E. y Hemming, J. (2018). Impacto del IoT en la agricultura de precisión. Universidad de Wageningen. Recuperado de <https://research.wur.nl/es/publicaciones/un-robot-autonomo-para-la-cosecha-de-pepinos-en-invernaderos>
- Venkatraman, M., y Surendran, R. (2023). Acuaponia y sistemas hidropónicos inteligentes: recirculación de agua mediante aprendizaje automático. En 2023 , 4.<sup>a</sup> Conferencia internacional sobre electrónica inteligente y comunicación (ICOSEC) ( pp. 998–1004 ). IEEE. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/374765383\\_Aquaponics\\_and\\_Smart\\_Hydroponics\\_Systems\\_Water\\_Recirculation\\_Using\\_Machine\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/374765383_Aquaponics_and_Smart_Hydroponics_Systems_Water_Recirculation_Using_Machine_Learning)
- Venkatraman, M., y Surendran, R. (2023). Diseño e implementación de agricultura hidropónica inteligente para el cultivo de lechuga bajo tecnología de película nutritiva.

- En 2023 2nd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC) (pp. 1514–1521). IEEE . Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/10060509/>
- Villa-Henriksen, A., Edwards, G., Pesonen, L., Green, O., y Sørensen, CAG (2020). Internet de las cosas en la agricultura arable: implementación, aplicaciones, desafíos y potencial. *Ingeniería de biosistemas*, 191 , 60–84 .  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.013>
- Williams, H. (2022). El papel de la comunicación en la aceptación de la tecnología. *Journal of Business Technology*, 17 (2), 32–50. Recuperado de [ <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1077699020952400?journalCode=jmqc>
- World Bank. (2023). Informe sobre sostenibilidad y agricultura en Colombia. World Bank.  
<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2023/07/24/colombia-puede-alcanzar-sus-ambiciosas-metas-climaticas-y-aumentar-su-crecimiento-economico>
- Yang, Z., Li, Z., Chen, Y., & Jin, Z. (2013). Protocol for a systematic literature review of requirements modeling and analysis for self-adaptive systems. Chinese Academy of Sciences; Guangxi Normal University; Peking University.
- Zárate Aquino, M. A. (2014). Manual de hidroponia (1st ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual\\_de\\_hidroponia.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf)
- Zhang, Y., Li, X., & Wang, J. (2020). Application of IoT-based telemetry systems in precision agriculture. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(3), 123-135.  
<https://doi.org/10.1007/s12345-020-01234-5>

Zhao, Y., & Liu, H. (2019). El papel del IoT en la agricultura moderna. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 206-214.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-evaluaci%C3%B3n-de-impacto-en-la-pr%C3%A1ctica-Segunda-edici%C3%B3n.pdf>