

<https://doi.org/10.47300/actasidi-unicyt-2022-38>

# **WSN REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS Y SU APLICACIÓN A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN: UN CASO DE METAANÁLISIS**

**Alarcón López, Álvaro Hernán**

Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA  
Neiva, Colombia  
alvaro.alarcon@corhuila.edu.co  
ORCID: 0000-0001-6846-9997

**Quimbayo Castro, Julian Andrés**

Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA  
Neiva, Colombia  
julian.quimbayo@corhuila.edu.co  
ORCID: 0000-0001-6846-9997

**García Perdomo, Edisney**

Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA  
Neiva, Colombia  
edisney.garcia@corhuila.edu.co  
ORCID: 0000-0003-4456-5153

**Marín Zambrano, Andrea Milena**

Universidad Antonio Nariño  
Neiva, Colombia  
andremarin@uan.edu.co  
ORCID: 0000-0001-9126-5626

## **RESUMEN**

En la actualidad la agricultura colombiana en términos generales y especialmente aquella desarrollada por las personas de menores recursos económicos, adolece del uso de tecnología; que permita optimizar los diversos procesos que son necesarios para el progreso adecuado de los cultivos. Por tanto, es bastante común que se presenten problemas en el control de las condiciones ambientales del cultivo, debido a la inexactitud en la cantidad o proporción de recursos suministrados a las plantaciones, ya que en muchos casos la intervención se realiza de forma manual. Las redes de sensores inalámbricas WSN son una tecnología agrícola que permite obtener un mayor rendimiento de los cultivos, debido a que por medio de estas se puede realizar el monitoreo y control de las variables ambientales que afectan al cultivo, de esta forma se logra generar unos ambientes ideales de crecimiento para las plantas. En este sentido se han desarrollado una serie de proyectos y estudios, por parte de las instituciones de educación superior tanto a nivel internacional como nacional; con el propósito de hacer uso de las WSN como herramienta de optimización de las diversas labores agrícolas. Por tanto, el presente trabajo tiene el objetivo de recopilar información usando la metodología PRISMA acerca de las redes de sensores inalámbricas WSN y de cómo estas han sido utilizadas en diversos países

como apoyo a la agricultura; encontrando resultados a partir de metaanálisis usando el lenguaje de programación R, y así, determinar el tamaño del efecto y pertinencia de estas intervenciones tecnológicas para futuros proyectos.

**Palabras clave:** Redes, Sensores, Agricultura, Variables ambientales, Metaanálisis.

### ABSTRACT

At present, Colombian agriculture in general terms, and especially that developed by people with lower economic resources, lacks the use of technology to optimize the various processes that are necessary for the adequate progress of crops. Therefore, it is quite common to have problems in the control of the environmental conditions of the crop, due to the inaccuracy in the amount or proportion of resources supplied to the plantations, since in many cases the intervention is done manually. The WSN wireless sensor networks are an agricultural technology that allows obtaining higher crop yields, because through these networks it is possible to monitor and control the environmental variables that affect the crop, thus generating ideal growth environments for the plants. In this sense, a series of projects and studies have been developed by higher education institutions, both at international and national level, with the purpose of using WSNs as a tool to optimize the various agricultural tasks. Therefore, the present work aims to collect information using the PRISMA methodology about WSN wireless sensor networks and how they have been used in various countries to support agriculture; finding results from meta-analysis using the R programming language, and thus, determine the size of the effect and relevance of these technological interventions for future projects.

**Keywords:** Networks, Sensors, Agriculture, Environmental variables, Meta-analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el clima a nivel mundial ha cambiado de forma drástica debido al aumento de los índices de contaminación y el posterior surgimiento de fenómenos tales como: el efecto invernadero, el niño, la niña, etc.; esta situación ha generado una serie de problemáticas de índole ambiental que han alterado el estilo de vida de la humanidad, especialmente la forma en la cual se desarrollan los procesos en la agricultura.

Estas variaciones climáticas tales como las heladas, generación de tormentas de grandes proporciones, el incremento de la radiación solar, las sequías, etc., afectan los diversos cultivos alrededor del mundo, de tal forma que se presenta una preocupante reducción de la cantidad y calidad de los productos agrícolas cosechados; así como la consecuente disminución de las ganancias de los agricultores.

Por tanto, como solución a estas problemáticas, han surgido una serie de nuevos paradigmas como alternativa a los cultivos tradicionales; planteando la necesidad de incorporación de infraestructuras de protección y las TIC en la actividad agrícola, con el propósito de menguar las afectaciones anteriormente expuestas.

Una de las posibilidades alternativas consiste en implementar un encerramiento físico de los cultivos por medio de invernaderos, los cuales al contar con una cubierta protectora aíslan algunos factores ambientales nocivos, pero al mismo tiempo permiten el ingreso de radiación solar y control de variables ambientales, con el propósito de lograr condiciones ideales para las plantaciones.

Por lo general este control de las condiciones climáticas de las plantaciones al aire libre y bajo cubierta se realiza de forma manual, lo cual puede generar una serie de situaciones perjudiciales para el cultivo tales como: excesivo suministro de agua debido a la lectura incorrecta de niveles de humedad del suelo, incremento no controlado de temperatura que afecta la transpiración de las plantas, dificultando la toma de nutrientes por parte de estas, etc.

Las TIC pueden ser solución a esta problemática a través de procesos de control autónomo de las variables ambientales en los cultivos; en este sentido surge la agricultura de precisión como

aplicación de la tecnología con el propósito de realizar actividades que permitan mejorar las prácticas agrícolas:

- Suministro controlado de fertilizantes.
- Control automático de riego de agua.
- Ubicación y control georreferenciado de maquinaria agrícola, etc.

El mencionado control autónomo puede ser implementado gracias al uso de sistemas embebidos que incorporan una unidad de control, sensores de variables agrometeorológicas (humedad relativa y del suelo, temperatura, luminosidad, etc.) y dispositivos actuadores tales como: sistema de riego y desagüe, persianas protectoras, fuentes de calor, fuentes de frío y otro tipo de mecanismos.

De esta forma se busca que los sistemas electrónicos de gestión de cultivos basados en agricultura de precisión permitan dar solución a las problemáticas relacionadas con la ubicación, la condición y los posibles cambios que acontecen en una plantación a través del tiempo (Torres Galindo et al., 2015). A su vez una rama de la agricultura de precisión que está íntimamente relacionada con la lectura de variables ambientales y el control de aquellas que intervienen en el desarrollo de los cultivos, es la denominada Redes inalámbricas de sensores (WSN); las cuales por medio del uso de tarjetas de desarrollo tales como Arduino permiten implementar un nodo coordinador con el propósito de recolectar la señal de los nodos sensores y controlar el nodo de potencia (Alarcón López et al., 2018). Este artículo se desarrollará en las siguientes fases: Introducción, Marco conceptual, Materiales y métodos, Resultados y discusión y Bibliografía.

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1. WSN redes de sensores inalámbricos**

Las WSN son redes de corto alcance que permiten implementar una serie de topologías de conexión de módulos electrónicos, con el propósito de recopilar parámetros climáticos asociados con el rendimiento de las plantaciones, retransmitiéndolos a la estación maestra en donde se procesan y se generan acciones de control (Gajjar et al., 2017).

Además, la información de las variables ambientales de las plantaciones (humedad relativa, humedad del suelo, temperatura, velocidad del viento, etc.), puede ser recopilada por módulos que actúan como puertas de enlace para realizar el posterior enrutamiento a la nube a través de direccionamiento IP; en este sentido en algunos proyectos desarrollados han logrado enviar estos datos a internet usando redes WPAN - IPV6 y protocolos como 6lowpan.

También se puede describir a las WSN, como un conjunto de sensores que están distribuidos en un terreno con el propósito de monitorear condiciones físicas o ambientales y cuyas señales inalámbricas son recopiladas por un nodo por a través de un dispositivo de borde (Calvo Salcedo et al., 2018). En la figura 1 se puede observar una topología ejemplo de este tipo de conexiones. En este mismo sentido en cuanto a aplicaciones tecnológicas en el área de la agricultura se puede afirmar que algunos proyectos de monitorización de variables agronómicas emplean los estándares 802.15.4 para la WSN, 802.11 para Wifi y direccionamiento IP (6LoWPAN - IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) con el propósito de integrarse al Internet de las Cosas (Cama-Pinto et al., 2013).

Por tanto, se puede afirmar que las aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos en el desarrollo de cultivos son diversas y pueden ir desde la medición de las condiciones climáticas, pasando por la irrigación inteligente, el monitoreo y control de peste; llegando inclusive a desarrollos en el área de la agricultura de precisión.

**Figura 1.**

*Componentes de WSN Gateway y Nodos Distribuidos* (Calvo Salcedo et al., 2018)



### 2.1.1. Nodos

Las WSN se componen de nodos sensores y actuadores, estos deben contar con línea de vista a pesar de la corta distancia de separación, para la transmisión correcta de datos; ya que los posibles obstáculos podrían generar pérdida de información y por tanto posibles errores de las mediciones de variables climáticas (López et al., 2017).

Los nodos sensores son aquellos que tienen como función básica la de recolectar las señales externas provenientes de los diversos sensores y enviarlas hacia un nodo coordinador gracias a un transmisor RF insertado en los mismos.

Los nodos coordinadores son tarjetas de desarrollo las cuales tienen como función principal, la de actuar como dispositivo concentrador y de enrutamiento de las señales provistas por los diversos nodos sensores ubicados alrededor de los cultivos, hacia una estación base ubicada a nivel local o remoto, por medio de algún protocolo de red (especialmente IPV6).

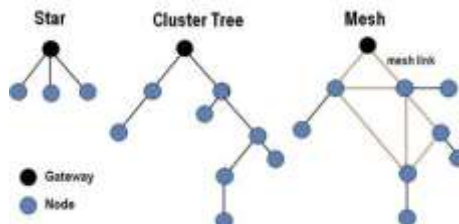
La estación base hace referencia a un dispositivo de procesamiento superior al de los nodos sensores y coordinadores, el cual puede ser capaz de tomar los datos provenientes de los nodos coordinadores, almacenarlos en bases de datos y generar sesiones de control que son reenviados a la WSN.

### 2.2.2. Topologías

Existen tres topologías básicas para el desarrollo de redes de sensores inalámbricas (WSN), estas son: estrella, malla y árbol. En la topología tipo estrella existe un dispositivo Gateway al cual se conectan cada uno de los nodos, mientras que en el tipo árbol la conexión se realiza a un dispositivo de mayor jerarquía y posteriormente al Gateway; por otro lado, en la tipología malla los nodos se conectan entre sí y existen múltiples caminos disponible para el transporte de datos (Andrés, 2016). En la figura 2 se pueden observar las clases de conexiones anteriormente mencionadas.

**Figura 2.**

*Componentes de WSN Gateway y Nodos Distribuidos*



## 3. WPAN (Redes de área personal) aplicadas en WSN

Las WPAN (Wireless Personal Area Network) redes inalámbricas de área personal cubren áreas de hasta 10 metros y son utilizadas para la conexión de dispositivos personales inalámbricos;

además manejan velocidades de transmisión bajas y un bajo consumo de energía, por cual son adecuadas para el uso con celulares, PDA, tablets, cámaras digitales, entre otros (Stallings & Stallings, 2005).

### 3.1. Comunicación Inalámbrica ZIGBEE

ZIGBEE es un estándar establecido por el grupo de trabajo IEEE 802.15.4, es usado en redes inalámbricas de bajo costo y bajo consumo de potencia, además es promovido por una comunidad internacional compañías de telecomunicaciones, por lo cual puede ser implementado por cualquier fabricante (Blázquez, 2017).

### 3.2. BLUETOOTH

Bluetooth es un estándar que hace parte de la familia 802, es una especificación de la industria para establecer conectividad de radio frecuencia de corto alcance, especialmente desarrollada para dispositivos personales (*IEEE Std 802.15.1-2002, IEEE Standard for Information Technology--Telecommunications and Information Exchange between Systems--Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements--Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer*, 2002).

El módulo más utilizado para implementar bluetooth es el HC-05, este usa el protocolo BT V2.0 estándar, velocidad de 9600 bps, así como un espectro de frecuencia de 2,4 GHz; además tiene antena integrada y una interfaz de velocidad programable UART (Hamouda & Elhabib, 2017).

### 3.3. HSCSD (high speed circuit switched data)

Es una implementación de GSM de alta velocidad, facilita la transmisión de datos a internet tanto para teléfonos móviles como para computadores portátiles; usa métodos de codificación superiores y múltiples espacios de tiempo (Raghunandan et al., 2017).

## 4. TIPOS DE NODOS SENSORES Y PLATAFORMAS WSN (MOTE)

A continuación, se puede observar un breve recuento de algunos de los nodos sensores más utilizados en la actualidad:

### 4.1. Indriya-Zigbee

Esta plataforma se usa principalmente en desarrollos de inteligencia ambiental basados en WSN; cuenta con un núcleo de baja potencia MSP430 y utiliza el estándar IEEE 802.15.4, además incluye sensores a bordo como acelerómetro y sensores de luz, con una gran cantidad de complementos opcionales (Kodali et al., 2014). Puede añadir aplicaciones de sensor de humedad y CO<sub>2</sub>, sensor de imagen, sensor de medición por ultrasonido, etc.

### 4.2. Mica2/MicaZ

Es una plataforma que usa un microcontrolador ATmega128L (baja potencia), posee aplicación de sensor y radio comunicación; además trabaja en la banda de 2,4 GHz, velocidad de datos de 250 kbps, hace parte de IEEE 802.15.4 y usa sistema operativo TinyOS. También se puede comunicar con sensores y tarjetas de adquisición de datos, gracias a la posibilidad del uso de un conector de expansión de 51 pines (Ali et al., 2011).

### 4.3. TelosB

TelosB es una plataforma desarrollados por la Universidad de California, cuenta con una serie de sensores integrados (humedad, temperatura y sensores de luz); además cuenta con 6 entradas de ADC, módulo de comunicación UART y bus I2C, así como puertos de propósito general, además usa sistema operativo TinyOS. Opera en un rango de voltaje de operación de 2.1 a 3.6V DC y de programación de 2.7V (Mateen et al., 2017).

#### 4.4. Wasp Mote

Este módulo es un hardware de código abierto desarrollado por la empresa Libellium Communications, el lenguaje de programación usado es C ++ y usa IDE de código abierto. No posee sensores a bordo, sin embargo cuenta con placas de expansión para 60 sensores (temperatura, humedad, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, , O<sub>2</sub>, CO, luz, acelerómetro, GPS, etc.; además puede ser energizado por medio de baterías recargables de ion de litio, paneles solares o USB (Mateen et al., 2017).

#### 4.5. WiSense Mote

Esta plataforma es especialmente utilizada en aplicaciones de WSN e Internet de las cosas (IoT), usa un microcontrolador de baja potencia MSP430 de Texas Instruments y un reloj de 8/16 MHz junto con un módulo de RF CC1101. Proporciona una herramienta para que los investigadores y desarrolladores pueden construir redes de malla a través de una única interfaz gráfica de usuario.

### 5. WSN APLICADAS A LA AGRICULTURA

Alrededor del mundo se han realizado una gran cantidad de proyectos relacionados con el uso de las TIC y su propósito de perfeccionar los procesos productivos de carácter agrícola; dentro de este universo, se evidencia que algunos de ellos usan las WSN como herramienta tecnológica capaz de generar una serie de nuevas estrategias, que conducen al mejoramiento de las prácticas agrícolas; a continuación, se pueden observar algunos de estos trabajos:

En primer lugar, se puede mencionar un proyecto denominado “Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero”; desarrollado a través de un proceso de cooperación de docentes de la Universidad de la Costa (Colombia) y la Universidad de Almería (España); en este se muestra un sistema electrónico que hace uso de la plataforma Telos B y cuyo propósito es la monitorización de variables ambientales aplicadas a la agricultura intensiva en el sureste de España.

El sistema consiste en una red de sensores inalámbricos que usa los protocolos 6LoWPAN (transmisión) y RPL (enrutamiento), tiene la capacidad de realizar mediciones de humedad, temperatura, luz y el contenido volumétrico de agua en el suelo. Los datos obtenidos se envían a un dispositivo central para su almacenamiento y posterior visualización en tiempo real.

En un estudio realizado por docentes de la Universidad Tecnológica de Panamá denominado “Redes inalámbricas de sensores eficientes para la Agroindustria”; se aborda el tema de la fuente de alimentación de este tipo de tecnología y la mejoría en el rendimiento de esta a través del uso de muestreo compresivo y bio-sensores.

Los bio-sensores pueden ser integrados al crecimiento de la planta o animal y no es necesario retirarlos después del proceso de medición, ya que al estar fabricados de materiales minerales se degradan y pueden ser utilizados como nutrientes. De esta forma se hacen menos costosos y más eficientes (Cedeño et al., 2014).

Otro proyecto que vale la pena mencionar es el desarrollado por docentes de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina) el cual se denominó “Aplicaciones del RFC 4944-6lowPAN-en IoT SIPIA6-Red de Sensores Inalámbricos con IPv6”; en este estudio se utilizó el protocolo 6lowPAN con el propósito de lograr una conexión de red de sensores a una aplicación alojada en la nube, generando de esta forma una aplicación de Internet de las Cosas para el sector agrícola. A través del desarrollo de este proyecto se busca aplicar el acceso de forma nativa a Internet (SIPIA6) a las redes de sensores inalámbricas y validar el funcionamiento de estas (Taffernaberry et al., 2015).

Otro proyecto de WSN aplicado al desarrollo de cultivos, es el denominado “Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia”; desarrollado por un docente adscrito a la Universidad del Cauca; se utilizó topología

estrella la cual conto con nodo coordinador encargado de recolección de los datos procedentes de los nodos sensores y posteriormente transmitirlos vía GPRS a un servidor.

En este trabajo se presenta una arquitectura basada en tres sensores: humedad, temperatura del suelo y de las hojas del cultivo, radicación solar y flujo fotosintético, estas señales se transmitían al nodo coordinador por medio del protocolo Zigbee y posteriormente a un servidor a través de GSM (Urbano-Molano, 2013).

### **5.1. Caso especial invernaderos**

A nivel mundial el uso de invernaderos automatizados ha aumentado y cada día surgen más modelos y diseños apropiados para cada cultivo. Estos los podemos definir como elementos de una agricultura intensiva que busca mayor rendimiento y calidad, teniendo como fundamento principal crear instalaciones climáticas que mejoren las condiciones de los productos en su crecimiento.

Además, a nivel nacional y continental existe un interés por desarrollar cultivos bajo invernadero, ejemplo de ello son las 949000 hectáreas de cultivos bajo cubierta que existen a nivel mundial; Japón cuenta con un 73% del total, España tiene el 31% e Italia el 17%; Estados Unidos tiene el 0,52%, México el 1,58% y Colombia con el 0,73%, siendo estos últimos los que lideran esta tendencia a nivel Latinoamericano(Robledo del Castillo, 2014).

En este mismo sentido la comunidad universitaria ha tendido participación con proyectos de investigación con respecto a la medición de factores micro climáticos en los invernaderos; una prueba de esto son los grupos de investigación GIDET y GAMA de la Universidad del Quindío quienes bajo un proyecto de investigación denominado “Análisis de Datos del Microclima Dentro del Invernadero de la Unidad Agroecológica la Aldana de la Universidad del Quindío”, realizaron la intervención a un invernadero sin automatización, con el objetivo de rediseñar su sistema de medición de datos y de afectación de variables en el micro clima;

Una de las conclusiones del desarrollo de este, expone que las características micro-climáticas de un invernadero están ligadas a las técnicas y materiales de construcción del mismo, lo cual influye directamente en el diseño de regulación de variables ambientales (Gutiérrez & Giraldo, 2015).

La universidad Tecnológica del suroeste de Guanajuato es otro ejemplo de aplicación de estos proyectos, ya que ha desarrollado aplicaciones para sus invernaderos los cuales no contaban con sistemas de control ni automatización del microclima y por lo tanto no contaban con la posibilidad de regular las condiciones ambientales necesarias de acuerdo con el tipo de cultivo establecido.

De esta forma el sistema de control climático para invernaderos permite que los cultivos cuenten con producción durante todo el año y presenten mayor rendimiento a menor costo, todo gracias al control electrónico de temperatura, humedad, nutrición y tiempo de riego; lo cual permite que el desarrollo de las plantaciones sea independiente de las condiciones ambientales externas(Rodriguez et al., 2014).

En el trabajo desarrollado por docentes del Centro Universitario UAEM Texcoco denominado “Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre”, se presenta una propuesta de desarrollo de un paquete tecnológico, cuyo objetivo fue el de implementar el monitoreo ambiental de invernaderos con un bajo costo.

Este es un ejemplo del uso de las plataformas Java (software libre) y Arduino (hardware libre) con el propósito de realizar la captura de la señal proveniente de los sensores para posteriormente procesar estos datos y establecer una estrategia de control de variables ambientales; siendo una de las ventajas del sistema el bajo costo de implementación.

Así mismo a nivel nacional se han desarrollado proyectos en este campo, un ejemplo de ello es el denominado” Diseño y simulación de un controlador en tiempo discreto para regulación de temperatura en un invernadero a escala”; realizado por docentes del programa de ingeniería

mecatrónica de la Universidad de Boyacá, el cual consistió en el desarrollo de un controlador de las variables: potencia térmica, flujo calórico P y la velocidad del flujo de aire basado un modelo matemático previamente estimado. Además, se utilizó a plataforma de desarrollo Arduino para la implementación del controlador.

Este sistema permitió regular la temperatura interior de un invernadero por medio de un controlador en tiempo discreto, de esta forma se buscaba proteger al cultivo de las heladas climáticas nocturnas(Bellon Hernandez, 2016).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

El metaanálisis es la revisión y síntesis cuantitativa de los resultados de estudios relacionados pero independientes. Los objetivos de un metaanálisis pueden ser varios. Mediante la combinación de la información de diferentes estudios buscando la integración de varios estudios de un solo tópico de manera integral. Para dicho estudio se propone una serie de pasos para cumplir con la aproximación de resolver alguna hipótesis. Los cuales según (Normand, 1999) son: A. Crear una pregunta de investigación, B. Llevar a cabo la búsqueda de información, C. Aplicar criterios de exclusión, D. Aplicar meta análisis y generar conclusiones estadísticas.

### A. Crear pregunta de Investigación:

Debido a la naturaleza del tópico que radica en las redes WSN inalámbricas y su aplicación al mundo de la agricultura de precisión, ya que estos no presentan resultados similares al campo de la salud que es donde se ejecuta el proceso de meta análisis comúnmente, se procede a lograr entender la relación entre la cantidad de referencias bibliográficas de cada artículo y su relación con el número de citaciones a la fecha con el fin de entender cuáles son los tópicos de mayor peso para investigadores que deseen comenzar en el mundo de la aplicación de las redes, sensores y agricultura de precisión. La pregunta seleccionada fue: **¿Cuál es el tamaño del efecto de las referencias bibliográficas y citaciones de los estudios relacionados en redes inalámbricas WSN, sensores y agricultura de precisión?**

### B. Llevar a cabo la búsqueda de información:

Para este proceso se tuvo en cuenta la creación de fórmulas usando el principio PRISMA de revisión sistémica usando conectores como and, or y not se comenzó con las siguientes búsquedas arrojando los siguientes resultados evidenciados en la tabla 1:

**Tabla 1**

*Ecuaciones de búsqueda*

Ecuaciones	Resultados
"precision agriculture" and "wsn" and "sensors"	19700
"precision agriculture" or "wsn" and "sensors"	16400
not "precision agriculture" and "wsn"	17400
"precision agriculture" and "wsn" and "sensor" and "greenhouse"	6870



“precision agriculture” and “wsn” and “sensor” and “greenhouse” específicamente artículos de revisión	1110
“precision agriculture” and “wsn” and “sensor” and “greenhouse” en su título con la palabra WSN	251

*Nota: Las búsquedas se realizaron entre los años 2014 al 2022.*

Así pues, con la depuración de operadores lógicos y conceptos el análisis se consolida con 251 artículos de tipo revisión sistémica, en los cuales se usen los conceptos de agricultura de precisión, redes wsn, sensores y la palabra invernadero sumado a que el título posean la sigla WSN entre los años 2014 al 2022. Las bases de datos usadas fueron Google académico, IEEE Explore, Scite Press y Springer.

### C. Aplicar criterios de exclusión:

Con los 251 artículos seleccionados se procede a aplicar los criterios de exclusión teniendo en cuenta las tecnologías nombradas en el marco conceptual, las cuales son: existencia de aplicación WSN, existencia de un hardware usado como Arduino, Raspberry pi, Zigbee entre otros, numero de referencias mayor al de citas ya que el estudio de meta analisis no permite que el grupo de control en este caso las referencias sea menor que el de experimento que en este caso serían la cantidad de citas. Quedando así 16 artículos seleccionados los cuales cumplen con las condiciones dadas.

### D. Aplicar metaanálisis y generar conclusiones estadísticas:

El primer caso en este estudio es consolidar la data seleccionada teniendo en cuenta los parámetros anteriores el dataset inicial presenta la siguiente estructura como se ve en la figura 3.

**Figura 3.**

*Variables organizadas en el dataset original*

Autor	Año	Titulo	N.Referencias	N.Citado	yi	vi
A. K. Torres Galindo, et al	2015	Development of a multispectral system fi	17	9	0.813233416982689	0.0142857142857143
A. H. Alarcon-Lopez, et al	2018	Sistema de control automático de variabl	12	11	122.875.033.881.043	0.02
S. Gajjar, et al	2017	FARMNET: Agriculture support system us	33	8	0.523432071842042	0.00746268656716418
A. Cama-Pinto, et al	2014	Wireless surveillance sytem for greenhou	31	28	123.452.064.270.279	0.00793650793650794
A. H. Alarcon-Lopez, et al	2017	Diseño de un sistema de control y autom	16	8	0.785398163397448	0.0151515151515152
Y. E. M. Hamouda & B. H. Y. Elhabili	2017	Precision Agriculture for Greenhouses Us	22	20	123.637.484.383.253	0.0111111111111111
G. H. Raghunandan, et al	2017	Comparative analysis of different precisi	12	7	0.862864993126175	0.02
N. A. Ali, et al	2011	Deployment of MICAz mote for wireless s	12	11	122.875.033.881.043	0.02
S. Gajjar, et al	2014	Comparative analysis of wireless sensor r	38	19	0.785398163397448	0.00649350649350649
C. Taffernaberry, et al	2015	Aplicaciones de Internet de las Cosas SiPi	42	2	0.24234030374735	0.00588235294117647
P. A. Muñoz Gutierrez & J. A. Buitrago Giraldo	2015	Perfiles de temperatura y humedad relati	12	3	0.544547808406462	0.02
M. Rodríguez, et al	2014	Diseño Conceptual de Sistema para la Au	15	11	101.239.705.092.093	0.0161290322580645
O. A. Bellon Hernandez, et al	2016	Diseño y simulación de un controlador er	23	1	0.249205851444875	0.0106382978723404
Thakur, D., et al	2019	Applicability of Wireless Sensor Network	82	79	13.644.899.396.262	0.00303030303030303
Gresli, J, et al	2021	Practical Precision Agriculture with LoRa	28	9	0.609246519496844	0.0087719298245614
Joshi, P, et al	2017	Wireless Sensor Network and Monitoring	25	9	0.648989438347542	0.00980392156862745

Donde se evidencia el autor del artículo, el año de su publicación, título, cantidad de referencias, numero de citas y el valor yi y vi. Donde yi es el input del tamaño del efecto es decir una

medida del cambio en el resultado o un resultado resumido, el cambio puede venir de un grupo de control o experimental o es la ocurrencia de un factor de riesgo entre dos grupos con en este caso que se requiere conocer cuál es la incidencia de las citaciones y las referencias como punto de partida para estudios sobre el tema tratado. En síntesis, en una medida de cambio y el valor de  $\tau^2$  es la variación de los valores entre las referencias del artículo y sus citaciones.

Establecidos ya dichos valores se proceden a utilizar la función `rma` del paquete `metafor` de R, el cual permite calcular el modelo de efectos aleatorios el cual asume que todos los estudios están estimando el mismo efecto de tratamiento (común). En otras palabras, no hay heterogeneidad entre los estudios en el verdadero efecto de las referencias del artículo. La implicación de este modelo es que las estimaciones del efecto de las referencias observadas varían sólo debido a las diferencias fortuitas creadas por las citaciones. Hipotéticamente, si todos los estudios tuvieran un tamaño de muestra infinito, no habría diferencias debidas al azar y las diferencias en las estimaciones de los estudios desaparecerían por completo y por tal motivo ninguno tendría mayor incidencia. Para poder llevar a cabo este análisis se sugiere utilizar la Máxima verosimilitud restringida (REML) (Veroniki et al., 2016) el cual permite determinar la variación de la relación entre las referencias y la citaciones de los artículos y así poder concluir si existe una relación estrecha dentro de estos dos valores y como pueden apoyar estudios posteriores según su grado de importancia. La ejecución del modelo de efectos aleatorios arrojó el siguiente resultado como se evidencia en la figura 4.

**Figura 4.**

*Resultados del modelo de efectos aleatorios*

```
Random-Effects Model (k = 16; tau^2 estimator: REML)

logLik deviance AIC BIC AICC
-5.9530 11.9060 15.9060 17.3221 16.9060

tau^2 (estimated amount of total heterogeneity): 0.1196 (SE = 0.0480)
tau (square root of estimated tau^2 value): 0.3458
I^2 (total heterogeneity / total variability): 92.56%
H^2 (total variability / sampling variability): 13.44

Test for Heterogeneity:
Q(df = 15) = 262.6145, p-val < .0001

Model Results:

estimate se zval pval ci.lb ci.ub
0.8333 0.0907 9.1871 <.0001 0.6555 1.0111 ***

***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

En primera instancia el test de heterogeneidad que significa la varianza en los valores de ambas columnas (referencias y citaciones) está por debajo de 0,10 lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa donde se asume que existe heterogeneidad entre ambos valores. Esto se corrobora con el valor de  $I^2$  con un 92,56% de variación, recordando que se asume un 95% de intervalo de confianza y un 5% de margen de error (Chang et al., 2022). Finalmente es justificado el análisis ejecutado por el valor del código de significancia que arroja el modelo entendiendo que es posible estimar el efecto de las referencias en relación con las citaciones de los artículos con un valor de 0.8333, en un intervalo de 0.65 a 1.01.

Finalmente se ejecuta el modelo de efectos mezclados para entender el tamaño del efecto entre las referencias bibliográficas y las citaciones acorde a las temáticas de WSN, sensores, agricultura de precisión e invernadero. Encontrando el siguiente resultado en la figura 5.

**Figura 5.**  
**Resultados del modelo de efectos mezclados**

```
Mixed-Effects Model (k = 16; tau^2 estimator: REML)

logLik deviance AIC BIC AICC
5.7695 -11.5391 0.4609 2.8483 21.4609

tau^2 (estimated amount of residual heterogeneity): 0.0072 (SE = 0.0080)
tau (square root of estimated tau^2 value): 0.0846
I^2 (residual heterogeneity / unaccounted variability): 38.26%
H^2 (unaccounted variability / sampling variability): 1.62
R^2 (amount of heterogeneity accounted for): 94.01%

Test for Residual Heterogeneity:
QE(df = 11) = 18.1322, p-val = 0.0786

Test of Moderators (coefficients 2:5):
QM(df = 4) = 109.7043, p-val < .0001

Model Results:

            estimate      se      zval      pval      ci.lb      ci.ub
intrcpt      42.4338    32.0452     1.3242    0.1854    -20.3736    105.2411
N.Referencias -0.0217     0.0033    -6.5774    <.0001    -0.0282    -0.0153 ***
N.Citado      0.0278     0.0030     9.1688    <.0001     0.0219     0.0338 ***
Año          -0.0206     0.0159    -1.2941    0.1956    -0.0518     0.0106
Idioma.PublicacionIngles 0.1046     0.0768     1.3612    0.1735    -0.0460     0.2552
```

Se evidencia una reducción en la variabilidad a un 38,26%, un valor de  $R^2$  DEL 94.01% lo cual indica la estrecha relación entre las dos variables objeto de estudio y su tamaño de efecto es significativo, por otro lado, el año de publicación es tenido en cuenta, pero no es relevante y el idioma de publicación inglés lo cual indica la predominación del contenido valioso asociado a dicho idioma.

#### E. Generar conclusiones estadísticas:

El aspecto fundamental del metaanálisis es hacer uso del modelo de efecto aleatorio y de efecto mezclado con el objetivo de identificar la incidencia entre dos variables frente a la pregunta de investigación o hipótesis planteada, dichos modelos hacen uso de conceptos como la heterogeneidad, coeficiente de determinación y porcentaje de confianza que permiten reconocer el efecto positivo o negativo de la relación y su incidencia para futuros proyectos.

En este caso en particular, el modelo de efecto aleatorio indica la existencia de heterogeneidad en la información rechazando así la hipótesis nula y afirmando que la variabilidad está sujeta a la proporción entre las referencias y las citaciones en el tiempo.

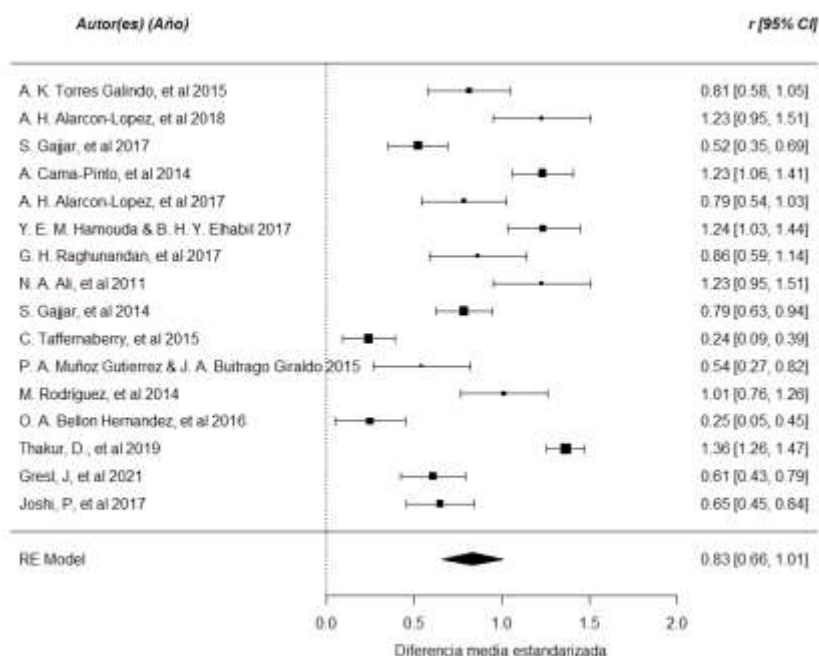
Por otro lado, en el modelo de efecto mixtos, agrega el valor de  $R^2$  y la estimación del peso del efecto frente a las variables de estudio encontrando que las mejores estimaciones son dentro del dataset seleccionado la cantidad de referencias, la cantidad de citaciones, el idioma de redacción y el año de publicación donde el valor de p en las dos primeras variables es menor a cero indicando que existe una relación importante y en las dos últimas levemente por encima de cero pero muy importantes para estimar la calidad frente a investigaciones futuras de este grupo de artículos.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultados más importantes se presenta el diagrama de la librería metafor denominado forest plot el cual indica el nivel de efecto de los estudios enfocados hacia una pregunta teniendo en cuenta grupos de interés como se evidencia en la figura 6, se evidencia de nuevo una heterogeneidad más baja que en el modelo de efectos aleatorios, entendiendo que, si el valor está por debajo de 50% en el valor de  $I^2$ , se asume como un estudio concluyente. Se evidencian rangos entre 0.66 a 1.01 entendiendo que el grupo posee un grado moderado de certeza que aportan al conocimiento de las redes de sensores WSN, agricultura de precisión y su aplicación en invernaderos. En los intervalos de confianza de las líneas horizontales se evidencia que la gran mayoría de estudios poseen una diferencia de intervalos corta lo cual indica la pertinencia

de la información para apoyar el estudio de estas temáticas. Los estudios más fuertes son aquellos donde estos rangos poseen una distancia corta en el intervalo estos son: (Bellon Hernandez, 2016; Cama-Pinto et al., 2013; Gajjar et al., 2017; Gresl et al., 2021; Hamouda & Elhabil, 2017; P P & S S, 2017; Taffernaberry et al., 2015; Thakur et al., 2019), particularmente todos estos artículos poseen un alto número de referencias y están muy cerca de llegar al mismo número de citaciones. Indicando que el metaanálisis permite identificar de manera concreta la pertinencia de la información recolectada frente a una pregunta de investigación a resolver siendo la herramienta por excelencia de una revisión sistémica.

**Figura 6.**  
*Resultados del forest plot*



## 8. CONCLUSIONES

Frente a la pregunta de investigación seleccionada se puede deducir que el metaanálisis es una herramienta estadística que permite identificar el tamaño del efecto de las variables objeto de estudio en este caso la cantidad de referencias y las citaciones. Se debe tener en cuenta que tipo de análisis se debe realizar ya que existe el modelo de efecto aleatorio y el modelo efecto mixto los cuales permiten identificar la heterogeneidad en la data, a mayor valor menos confiable es el estudio. En este caso en particular, con el primer modelo la heterogeneidad fue muy alta en casi un 93% pero con un alto grado de significancia, luego en el modelo de efectos mixtos se evidencia un bajo grado de heterogeneidad con un 38% evidenciando que las columnas de año de publicación, idioma de publicación, número de referencias y número de citaciones son las variables más adecuadas que aportan al estudio y por consiguiente son determinantes y concluyentes como elementos para tener en cuenta.

Finalmente, el tamaño del efecto es muy bueno en ambos modelos generando una estimación de 0.83 en el primer modelo y en el segundo de 0.94. Concluyendo así que dichos estudios son determinantes para poder conocer el estado actual de los conceptos enlazados de WSN, sensores, agricultura de precisión e invernadero y que la relación citaciones con referencias son determinantes entre más cerca este las citaciones del número de referencias usadas, indicando pertinencia y visibilidad; así pues en conjunto con las ecuaciones de búsqueda, los criterios de exclusión y el metaanálisis se puede inferir que dicho grupo de investigaciones son

imprescindibles para dar un mejor enfoque a la realidad de futuros trabajos a realizar que involucren dichas temáticas con un alto grado de homogeneidad y tamaño de efecto positivo.

## REFERENCIAS

- Alarcón López, Á. H., Arias Vargas, G., Díaz Ortiz, C. J., & Sotto Vergara, J. D. (2018). Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta. *Ingeniería Solidaria*, 14(24), 1-11. <https://doi.org/10.16925/in.v14i24.2158>
- Ali, N. A., Driberg, M., & Sebastian, P. (2011). Deployment of MICAz mote for Wireless Sensor Network applications. 2011 IEEE International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), 303-308. <https://doi.org/10.1109/ICCAIE.2011.6162150>
- Andrés, V. (2016). Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el Monitoreo de Humedad y Temperatura en Cultivos – Caso de Estudio Hacienda Cabalinus Ubicada en la Provincia de Los Ríos. 38(1), 17.
- Bellon Hernandez, O. A. (2016). Diseño y simulación de un controlador en tiempo discreto para regulación de temperatura en un invernadero a escala. *Prospectiva*, 14(1), 70. <https://doi.org/10.15665/rp.v14i1.646>
- Blázquez, J. P. (2017). Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos. 30.
- Calvo Salcedo, A. F., Bejarano Martínez, A., & Castillo González, A. (2018). Diseño prototipo de una red de sensores inalámbricos. *Visión electrónica*, 12(1), 43-50. <https://doi.org/10.14483/22484728.13405>
- Cama-Pinto, A., Gil-Montoya, F., Gómez-López, J., García-Cruz, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2013). Wireless surveillance sytem for greenhouse crops Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero. 7.
- Cedeño, J., Zambrano, M., & Medina, C. (2014). Sensores eficientes para la agroindustria. 4.
- Chang, Y., Phillips, M. R., Guymer, R. H., Thabane, L., Bhandari, M., Chaudhary, V., Wykoff, C. C., Sivaprasad, S., Kaiser, P., Sarraf, D., Bakri, S., Garg, S. J., Singh, R. P., Holz, F. G., Wong, T. Y., & on behalf of the R.E.T.I.N.A. study group. (2022). The 5 min meta-analysis: Understanding how to read and interpret a forest plot. *Eye*, 36(4), 673-675. <https://doi.org/10.1038/s41433-021-01867-6>
- Gajjar, S., Kothari, D., Upadhyay, M., & Dhingra, V. (2017). FARMNET: Agriculture support system using Wireless Sensor and Actuator Network. 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 291-296. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET.2017.8299765>
- Gresl, J., Fazackerley, S., & Lawrence, R. (2021). Practical Precision Agriculture with LoRa based Wireless Sensor Networks: Proceedings of the 10th International Conference on Sensor Networks, 131-140. <https://doi.org/10.5220/0010394401310140>
- Gutiérrez, P. A. M., & Giraldo, J. A. B. (2015). Perfiles de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero de la unidad agroecológica La Aldana de la Universidad del Quindío. 25.
- Hamouda, Y. E. M., & Elhail, B. H. Y. (2017). Precision Agriculture for Greenhouses Using a Wireless Sensor Network. 2017 Palestinian International Conference on Information and Communication Technology (PICICT), 78-83. <https://doi.org/10.1109/PICICT.2017.20>
- IEEE Std 802.15.1-2002, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer. (2002). 1169.
- Kodali, R. K., Rawat, N., & Boppana, L. (2014). WSN sensors for precision agriculture. 2014 IEEE REGION 10 SYMPOSIUM, 651-656. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2014.6863114>

- López, A. H. A., Vargas, G. A., & Ortiz, C. J. D. (2017). Diseño de un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta en CORHUILA Design of a control and automation system for temperature, ground humidity and relative humidity to optimize crop yield under cover in CORHUILA. 7.
- Mateen, A., Sehar, M., Abbas, K., & Akbar, M. A. (2017). Comparative analysis of wireless sensor networks with wireless multimedia sensor networks. 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI), 80-83. <https://doi.org/10.1109/ICPCSI.2017.8391847>
- Normand, S.-L. T. (1999). Tutorial In Biostatistics Meta-Analysis: Formulating, Evaluating, Combining, And Reporting. 39.
- P P, J., & S S, Dr. K. (2017). Wireless Sensor Network and Monitoring of Crop Field. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering, 12(01), 23-28. <https://doi.org/10.9790/2834-1201022328>
- Raghunandan, G. H., Namratha, S. Y., Nanditha, S. Y., & Swathi, G. (2017). Comparative analysis of different precision agriculture techniques using wireless sensor networks. 2017 4th International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), 129-133. <https://doi.org/10.1109/ECS.2017.8067853>
- Robledo del Castillo. (2014). Ruta PI. Ministerio de Industria, comercio y turismo.
- Rodriguez, M., Chagolla, H., & Lopez, M. (2014). Diseño Conceptual de Sistema para la Automatización del Invernadero uno de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-IV, 299-318.
- Stallings, W., & Stallings, W. (2005). Wireless communications and networks (2nd ed). Pearson Prentice Hall.
- Taffernaberry, C., Diedrichs, A., Mercado, G., Grünwaldt, G., Tabacchi, G., & Pecchia, M. (2015). Aplicaciones del RFC 4944—6lowPAN - en IoT SIPIA6—Red de Sensores Inalámbricos con IPv6. 4.
- Thakur, D., Kumar, Y., Kumar, A., & Singh, P. K. (2019). Applicability of Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture: A Review. Wireless Personal Communications, 107(1), 471-512. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06285-2>
- Torres Galindo, A. K., Gómez Rivera, A. F., & Jiménez López, A. F. (2015). Desarrollo de un sistema multiespectral para aplicaciones en agricultura de precisión usando dispositivos embebidos. Sistemas y Telemática, 13(33), 27-44. <https://doi.org/10.18046/syt.v13i33.2079>
- Urbano-Molano, F. A. (2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia. 7.
- Veroniki, A. A., Jackson, D., Viechtbauer, W., Bender, R., Bowden, J., Knapp, G., Kuss, O., Higgins, J. P., Langan, D., & Salanti, G. (2016). Methods to estimate the between-study variance and its uncertainty in meta-analysis. Research Synthesis Methods, 7(1), 55-79. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1164>

<sup>i</sup> Los autores del trabajo autorizan a la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT) a publicar este resumen en extenso en las Actas del Congreso IDI-UNICYT 2022 en Acceso Abierto (Open Access) en formato digital (PDF) e integrarlos en diversas plataformas online bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.