

Análisis de la implementación tecnológica de IOT en la industria agrónoma en Colombia.

Review article (monograph) as a degree option in the Faculty of Engineering

Carlos David Cano Hincapié 1^a

carlos.cano01@usc.edu.co

Juan Felipe Yepes Hernández 2^a

juan.yepes01@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Tecnología en Sistemas de Información (1)

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Tecnología en Sistemas de Información (2)

Resumen

El Internet de las cosas (IoT, Internet of the Things) es el nombre que se le da a la red que se crea al intercambiar datos a través de internet sobre una medida u objeto físico, con el fin de conocer, precisar y analizar posteriormente dichos datos recolectados. Debido a la relevancia que ha tomado este concepto y su aplicación, en la presente revisión abarcaremos un análisis de las distintas formas en que las IoT fueron utilizadas en la última década y son usadas actualmente en la industria agronómica en Colombia con más frecuencia; centrándonos en la implementación de la agricultura de precisión, red de sensores inalámbricos, drones para toma de imágenes multiespectrales y recolección de datos a través del IoT, obteniendo mayor rentabilidad y optimizando la cadena de valor y la incorporación de tecnología de alta precisión en el campo y en la industria, se continúa transformando desde la agricultura tal y como la conocemos, a la actualidad, generando un avance estructural de cara al futuro con tecnología de punta que canaliza este concepto. La necesidad de implementación de las IoT, está dada en la obtención de datos en el menor tiempo posible o a tiempo real por almacenamiento o transferencia de los mismos; de parámetros esenciales como: del suelo y sus capacidades edafológicas, cantidad de agroquímicos, riego, ahorro de combustible, del estado del tiempo, área foliar y/o desarrollo del cultivo en sus distintos estados fenológicos, necesarios para la toma de decisiones del profesional o del productor agrónomo, aportando un abanico de posibilidades según cada caso.

Palabras Clave: Internet de las Cosas, Industria agrícola Colombiana, Agricultura de precisión, Red de sensores Inalámbricos (WSN), Drones, Imágenes multiespectrales, BigData

Abstract

The Internet of Things (IoT, Internet of the Things) is the name given to the network that is created by exchanging data through the Internet on a measurement or physical object, in order to know, specify and subsequently analyze the data collected. Due to the relevance that this concept has taken and its application, in this review we will cover an analysis of the different ways in which IoTs were used in the last decade and are currently used more frequently in the agricultural industry in Colombia; focusing on the implementation of precision agriculture, wireless sensor network, drones for multispectral imaging and data collection through the IoT, obtaining greater profitability and optimizing the value chain and the incorporation of high precision technology in the field and in the industry, continues to transform from agriculture as we know it, to the present, generating a structural advance for the future with cutting-edge technology that channels this concept. The need for the implementation of IoT is given in obtaining data in the shortest possible time or in real time by storage or transfer of the same; of essential parameters such as: soil and its edaphological capabilities, amount of agrochemicals, irrigation, fuel saving, weather, leaf area and/or crop development in its different phenological stages, necessary for decision making of the professional or agronomist producer, providing a range of possibilities depending on each case.

Key words: Internet of Things, Colombian agricultural industry, Precision agriculture, Wireless Sensor Network (WSN), Drones, Multispectral imaging, BigData

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia el acompañamiento al sector agrícola no ha sido el más adecuado a lo largo de los años, la asistencia gubernamental y de tecnificación para este sector no está frecuentemente disponible o a menudo se basa en políticas y procedimientos mal definidos o que en muchos casos dependen de intereses políticos para su aprobación e implementación. Por eso, existen muchos inconvenientes cuando se optimizan los procesos de producción, recolección, entre otros. Colombia tiene un gran potencial agrícola, pero por falta de apoyo es muy limitado; otros factores como el precio alto de los insumos agrícolas, los altos intereses con los créditos y el costo de mano de obra terminan por desalentar la inversión en el campo. Sin embargo, la existencia de nuevas tecnologías ha permitido mejorar y automatizar los procesos industriales en todos los campos de la producción. (Espinoza-García et al., 2019).

El concepto de IoT comprende varios hardware y software heterogéneos periféricos para la interoperabilidad. Las tecnologías IoT sugieren un potencial ilimitado para nuevas soluciones y un desarrollo de aplicaciones más inteligente que puede avanzar en todos los aspectos de la industria agrícola. (Murtaza y AliÇalhan. 2021). Los dispositivos más utilizados por IoT son los microcontroladores y sensores que permiten la interconexión y envío de datos, utilizando distintos tipos de protocolos; también posibilitan recibir y ejecutar comandos, mediante aplicaciones específicas instaladas en un computador, o alojadas en la nube, e incluso existen aplicaciones para dispositivos móviles. (Nuñez-Agurto et al., 2020). El alcance del IoT no se limita solo a conectar cosas, sino a permitirles comunicarse e intercambiar datos entre ellas para un posterior análisis. (Hernández-Leal et al., 2017).

Con el IoT se puede implementar la Agricultura de Precisión (AP) que es un sistema empleado para analizar y controlar la variación de los cultivos por medio de tecnologías satelitales, monitoreo y maquinaria automatizada. Dicha variabilidad comprende las diferencias en la fertilidad de distintas secciones del terreno y las que se dan durante el crecimiento de las plantas cultivadas, además de las diferencias observadas en la producción de un mismo terreno entre una temporada y otra. Esta moderna agricultura permite reducir hasta 90% el uso de insumos agrícolas que son liberados al medio ambiente. (Santillán y Rentería, 2018). Uno de los problemas que tenemos actualmente en la agricultura de Colombia es el seguimiento y control de las variables ambientales que afectan sus actividades, desde el proceso de siembra hasta la obtención del producto final. (Espinoza-García et al., 2019).

Por ello con el presente artículo se busca presentar la implementación de tecnologías en el sector agrícola de Colombia con el objetivo de analizar la importancia y beneficios del IoT y la agricultura de precisión para la productividad, practicidad y economía para agricultores y productores en la industria agrónoma del país; teniendo en cuenta las ventajas y desventajas del uso de estas tecnologías tales como: reducción de costos pero a su vez disminución de puestos de trabajo y precisión en producciones en contraste con el soporte, reparación y mantenimiento en los equipos utilizados en las tecnologías IoT.

Tecnologías IoT aplicadas a la agricultura

La naturaleza de la tecnología y los dispositivos está cambiando, es decir, nunca se conforma con menos. Se han presentado muchos trabajos de investigación que abordan los desafíos de la agricultura en el dominio de IoT. Los desarrollos constantes y las expectativas eternas de las tecnologías existentes allanan el camino para motivar a los académicos e investigadores a establecer y alcanzar nuevos estándares. Durante los últimos años, ha habido un cambio de paradigma en el estudio y la aplicación de dominios como IoT, computación en la nube, aprendizaje automático y big data, etc. (Kour y Arora, 2020)

El internet de las cosas se define como el punto en el tiempo en el que se conectaron a Internet más “cosas u objetos” que personas. Pero es necesario aclarar que no existe una definición única y universal. Es importante mencionar que la concepción de combinar ordenadores, sensores y redes para monitorear y controlar diferentes dispositivos ha existido durante décadas. Pero, la actual reunión de diversas tendencias del mercado tecnológico proyecta una cercana realidad generalizada del Internet de las Cosas. (García Quintero et al., 2019).

Se espera que la agricultura se vea inmensamente fortalecida por el avance de la tecnología, especialmente por el dominio IoT. Agricultura de precisión es el nuevo término adjunto al archivo de agricultura, con todos los procedimientos seguidos, abordados y simulados de manera tecnológica. La incorporación de internet ha comenzado a revolucionar este campo al asociar dispositivos entre sí, ahora siendo identificado como el Internet de las Cosas. (Kour y Arora, 2020)

La agricultura de precisión, que consiste en efectuar la intervención correcta, en el momento adecuado y en el lugar preciso. Esto implica la modernización de las prácticas agrícolas y para esto se ha creado tecnología que permite cuantificar y manejar de modo diferenciado la variabilidad natural del área productora; así mismo, el manejo adecuado de nuevas máquinas y equipos agrícolas para preparar, sembrar, cultivar, cosechar y procesar productos agrícolas permitiendo significativos avances en el área de la producción de alimentos. (García Quintero et al., 2019).

Santillán y Rentería (2018) definen la Agricultura de precisión como un sistema empleado para analizar y controlar la variación espacio-temporal del terreno y el cultivo. La variación espacial comprende las diferencias en fertilidad de distintas secciones del terreno y las que se dan en el crecimiento de las plantas cultivadas. La variación temporal engloba las diferencias observadas en la producción de un mismo terreno entre una temporada y otra.

La autora (Rodríguez González, 2020) realiza un estudio sobre la Agricultura de precisión en el mundo y en Colombia, donde habla sobre el sistema de posicionamiento, que ofrecen información sobre la ubicación precisa de la maquinaria, el agricultor y/o el cultivo. Los sensores remotos, quienes a través de imágenes satelitales permiten definir zonas de muestreo y/o manejo, para medir índices de vegetación y productividad. Los monitores de rendimiento, que calculan y almacenan el rendimiento, la humedad y cantidad de grano de la cosecha, generando mapas con esta información y, por último, los sistemas de información geográfica el cual recolecta, almacena, procesa, analiza y comparte información georreferenciada a través de softwares y hardware que generan como resultados mapas que contienen diferentes tipos de datos geográficos según sea el propósito o interés de quienes lo estén ejecutando.

1.1.2. Implementación de Tecnologías IoT en la Agricultura de Colombia

Debido a que en Colombia se cuenta con un gran potencial agrícola, se ve necesaria la tecnificación del campo, y el reto está en la implementación de la transferencia y adaptación a las nuevas tecnologías, permitiendo aumentar la calidad y productividad en los cultivos. En esta sección haremos referencia a los trabajos que se han desarrollado para la implementación de las tecnologías IoT en la agricultura, sin dejar a un lado la agricultura de precisión que también hace parte de los desarrollos y avances tecnológicos.

Desde la universidad Cooperativa de Colombia un grupo de estudiantes del programa ingeniería de sistemas, presentaron un análisis de un sistema de riego a control remoto, que con el pretenden mostrar los beneficios que trae el automatizar los procesos importantes para un cultivo y la importancia del internet de las cosas, que ayuda a usar eficientemente el agua que se utilice en los cultivos. Este sistema utilizaría una transmisión de datos a través de una red, mediante unos sensores en el suelo que se basa en el uso de la señal del celular para manipular el riego, controlando la válvula de la presión en cuanto a intensidad y tiempo, brindando un uso del agua de manera adecuada. Finalmente, el estudio se realizó para que fuera implementado en la región del Magdalena, realizando pruebas con el cultivo de banano, pero no se realizó una implementación física. (Alfaro, J et al., 2018)

Por otro lado, en la universidad del Quindío se presentó una propuesta de arquitectura para la agricultura de precisión soportada en tecnologías abiertas de Internet de las Cosas (IoT) para la obtención, monitoreo y análisis de variables climáticas. La propuesta se basa en la estructura de la arquitectura Lambda, considerando diferentes capas como son: La capa de captura de datos, cuya función es la obtención de variables asociadas a un cultivo. La capa de almacenamiento, cuya función es recopilar la información en tiempo real desde los sensores. La capa de procesamiento genera predicciones y recomendaciones, la cual es evaluada mediante pruebas de carga con el fin de determinar su capacidad y tiempo de respuesta y por último la capa de consulta que permite a los usuarios finales visualizar en una interfaz web los datos

climáticos y las predicciones. (Quiroga Montoya et al., 2016).

Otro ejemplo es el desarrollo teórico-práctico de un prototipo de solución IoT para el monitoreo de cultivos agrícolas, implementando una de las nuevas tecnologías en el sector IoT “LoRa”, quien cuenta con un bajo consumo de energía y larga distancia (mayor a 8Km) entre el dispositivo transmisor y el dispositivo receptor, con el fin de conocer las variables físicas que afectan directamente al proceso de un cultivo a través de un aplicativo web. La adquisición de datos provenientes de los sensores (temperatura, humedad, radiación y Ph) son transferidos a un servidor público donde se procesan los datos y luego a través de un aplicativo web con su debida interfaz permite visualizarlo la información de los sensores de cada nodo, estadísticas en tiempo real y alertas cuando las medidas no están dentro de los parámetros que se pueden establecer mediante el mismo aplicativo. (Useche y Rodríguez, 2018).

También en la Universidad Sur Colombiana en el departamento del Huila, presentaron un artículo donde se propone el diseño, elaboración e implementación de un sistema de riego empleando hardware y software libre, redes de sensores inalámbricas (WSN), actuadores, dispositivos de comunicación inalámbrica y herramientas TICs, con el fin de crear un ambiente donde el Internet de las Cosas (IoT) y la agricultura de precisión pueda ofrecer al usuario un mejor control del riego sobre el cultivo teniendo en cuenta la evapotranspiración, que es la combinación de dos procesos por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo (evaporación) y por la transpiración del cultivo. Este sistema cuenta con distintos tipos de nodos como: nodos sensores con y sin respaldo, nodos actuadores, un nodo recolector y un Gateway o controlador para la recolección de datos para posteriormente ser transferidos mediante la nube. (Anaya Isaza et al., 2017).

En Sincelejo, Sucre Carlos S. Cohen-Manrique junto tres investigadores más de la Universidad del Caribe, plantean un sistema de riego automático para cultivos de ahuyama, diseñado con un componente de un controlador proporcional, integral y derivado (PID) sintonizado modelado en Matlab y un sistema de adquisición de datos conectado a la nube mediante IoT. El usuario controla el cultivo de manera remota y gestiona la información histórica y en tiempo real para evaluar el requerimiento hídrico del cultivo. Se utilizaron los datos adquiridos en tiempo real a través de una estación meteorológica y modelos matemáticos aplicados a la simulación de la reacción del suelo y subsuelo de la región, para la optimización del recurso hídrico en el sembrado, a través de conexiones sensoricas inalámbricas y el registro permanente de datos en la nube para futuros modelamientos a través de la ciencia de datos. (Cohen Manrique et al., 2020).

El autor (Murillo, 2022) de la UNAD, Colombia, por su parte, implementó un dron para tomas de imágenes multiespectrales, que permiten el diagnóstico de la enfermedad de la gota en cultivos de papa en Boyacá, donde busca mejorar el apoyo al productor, mejorar las prácticas de siembra, cuidado y recolección de cultivos, incursionando la construcción de una nave no tripulada equipada con cámaras especiales que permiten la toma de imágenes digitales de tipo multiespectrales que se pueden procesar para la detección temprana de enfermedades como la gota en la papa, para que el productor pueda tomar las medidas necesarias para mejorar la salud de su cultivo. Para la detección de esta enfermedad en el follaje, se usa tecnología de visión artificial, estas imágenes se pueden tratar digitalmente por medio del NIR (Infrarrojo cercano) para encontrar el índice de vegetación diferenciado (NDVI) y así detectar las plantas que tengan la enfermedad. (Otero Murillo, 2022).

En 2016, un grupo de personas de diferentes universidades de Colombia presentan en un artículo, los drones como una tecnología que ayuda a los múltiples procesos de la agricultura, a captar información importante y a evaluar las condiciones de los terrenos monitoreados, gracias a la ventaja de sobrevolar los campos y los cultivos, aplicando tecnologías de cámaras con alta definición e información georreferenciada para su ubicación exacta. Lo más importante es poder determinar de forma prematura y eficiente las enfermedades, plagas, maleza y los posibles efectos futuros de daños climáticos como las heladas o sequías. En la agricultura de precisión por medio de drones se captan imágenes originadas por cámaras hiper-espectrales que capturan información del espectro electromagnético, esta implementación permite adquirir datos con los que se generan las valoraciones de los cultivos tratados y, de esta forma, prestar una adecuada atención de manera puntual y localizada a los cultivos. (González et al., 2016).

Arias & Antosová (2018) plantean un artículo de investigación donde a través de un sistema de información geográfica trata de identificar el comportamiento en la distribución espacial de la producción agrícola en el estado de Boyacá. Dado el destacado papel de su sector rural a escala nacional, el artículo analiza en detalle el papel productivo de los municipios

en la producción agrícola y es interesante abordar un análisis regional sobre el comportamiento de la producción agrícola y sus determinantes espaciales, condicionados al tamaño del mercado y la distancia a los lugares de consumo. Esta región se destaca como la primera productora de hortalizas y tomates. De igual manera, se ubica como el primer proveedor en once variedades de frutas y comparte con Cundinamarca y Nariño los primeros lugares en la producción de papa.

1.2. Estudio de Caso

Desde la Universidad del Cauca, Fernando Aparicio Urbano-Molano, presenta el diseño preliminar de una red de sensores inalámbricos para agricultura de precisión en cultivos de café en Colombia usando el estándar 802.15.4. La arquitectura del sistema consiste en: tres nodos que utilizan sensores para temperatura y humedad del suelo, temperatura de las hojas, radiación solar y flujo fotosintético usando un radio XBee 802.15.4; el nodo coordinador posee una estación climatológica y un modem GSM que se encarga de enviar la información a un servidor central. En este caso, es importante diseñar una red inalámbrica de sensores (WSN) para cultivos de Café, contando con unos nodos pequeños con el menor consumo de energía posible, que, a su vez puedan enviar la información a la estación de control y que la desplieguen de manera grafica con el fin de ser lo mejor entendibles posible. Una red de sensores inalámbricos (WSN) es un sistema que consiste en dispositivos autónomos usando sensores distribuidos con el fin de monitorear condiciones físicas o ambientales. La transmisión inalámbrica puede reducir y simplificar el cableado, ubicar e instalar el sensor es fácil ya que su tamaño es considerablemente pequeño y tiene una integración de bajo costo. Actualmente, las WSN son usadas en varias áreas de aplicación industrial que incluyen el monitoreo de procesos y control, salud ambiental y monitoreo agrícola. (Urbano-Molano, 2013).

La IEEE 802.15.4 Es un estándar que define la capa física (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) para redes inalámbricas de área personal (WPAN) con bajas tasas de transmisión de datos. Esta hace énfasis en el bajo costo de la comunicación de nodos cercanos, los cuales cuentan con muy poca infraestructura, para favorecer el bajo consumo. (Urbano-Molano, 2013).

Los módulos XBee-Pro S2C tienen un bajo costo y permiten conexiones inalámbricas entre dispositivos electrónicos. Trabajan con una frecuencia de 2,4 GHz y se pueden utilizar para crear redes punto a punto, punto a multipunto, de difusión y de malla también se incorpora comunicación SPI (Serial Interface Interface) para proporcionar intercambio de datos a alta velocidad entre dispositivos, optimizando la conexión con microcontroladores (Ruíz Martínez et al. 2019)



Funcionamiento de la puerta de enlace en una red inalámbrica de sensores (WSN) con almacenamiento de datos en la nube. (Ruíz Martínez et al., 2019).

El objetivo de esta tecnología no es alcanzar velocidades de transmisión muy altas (sólo puede alcanzar una tasa de 20 a 250 Kbps en un rango de 10 a 75 metros), sino implementar sensores cuyos transceptores ofrezcan un consumo de energía muy bajo. Se realizaron pruebas de distancia para determinar el alcance máximo de los módulos inalámbricos Xbee, esto con el fin de garantizar una transmisión de datos confiable sin pérdida de señal y se encontró un alcance máximo de 100 mts. Se estableció que el manejo de cultivo del café es complejo, teniendo en cuenta las variabilidad de especies, terrenos y condiciones ambientales específicas que afectan finalmente el proceso de producción y calidad final del grano, como la temperatura, estableciendo una temperatura óptima entre los 19 y los 21,5 °C, si la temperatura es menor a los 19 °C, su producción es menos, si el promedio es mayor a los 21.5 °C, el ataque de la roya, las plagas de broca y el minador aumentan, pero se puede cosechar antes, así mismo, como influye la temperatura también lo hacen los vientos, las lluvias y el suelo (Ruíz Martínez et al. 2019).

Se determinó que el desarrollo y la implementación de redes de sensores inalámbricos ahora son más factibles debido a los bajos costos de los sensores, las tarjetas programables y los módulos de comunicación, así como al hardware y software de código abierto que no requieren que los usuarios paguen por licencias haciendo que la WSN sea mas rentable para los caficultores (Ruíz Martínez et al. 2019).

1.3. Ventajas y Desventajas

Principalmente las ventajas que trae consigo la implementación de tecnologías IoT en la agricultura, están dadas en el aumento de calidad y productividad en los cultivos, ayudando así, a la reducción de costos en insumos agrícolas y mejorando la gestión en las cosechas selectivas. (Tovar Soto et al., 2019) Por otra parte, se da una mejor gestión de los recursos en el ahorro del agua utilizada para el riego, la precisión en la aplicación de agroquímicos como fertilizantes, plaguicidas, fungicidas, etc., mejorando el control y detección temprana de plagas y enfermedades en los cultivos, también dando paso a la producción de mapas agronómicos, los cuales representan claramente los problemas y los avances de los cultivos que lleva a un mayor control, monitoreo y automatización de procesos, facilitando la obtención detallada de una situación en particular y repercutiendo en un menor consumo y en consecuencia un mayor ahorro de energía. La capacidad de almacenar y conectar dispositivos a internet para la recolección de datos puede ayudar a analizar el cómo reducir la cantidad de productos fitosanitarios utilizados en la cosecha, significando un rendimiento económico para el productor en cada campaña. Con el avance de estas nuevas tecnologías se busca una optimización de recursos que permita a lo largo de los años una agricultura sostenible y amigable con el medio ambiente, realizando actividades para conservar, proteger y mejorar los recursos naturales.

Con los mismos avances de estas tecnologías se busca reducir y optimizar el costo de la mano de obra, ya que por ejemplo, por medio de los drones pilotados se puede diagnosticar los cultivos para luego implementar un tratamiento, esto implica que el trabajador no vaya revisando el cultivo y valorizando cada planta, reduciendo el tiempo de trabajo; a parte, mediante estos diagnósticos el control de plagas, riego o implementación de pesticidas no se haría de forma manual si no de forma automática obteniendo una mayor productividad. Esto involucra una reducción importante en puestos de trabajos, ya que no sería necesario tener muchos trabajadores para realizar una valoración, se podría solo tener un dron y una persona dirigiéndolo para valorizar el cultivo y esto puede afectar al aumento de desempleo en el país, que a su vez se podría convertir en una ventaja, generando empleos ya sea para el soporte, mantenimiento y manejo de estas nuevas tecnologías. (González et al., 2016).

En cuanto a las desventajas de este tipo de sistemas de la información, es que se requiere una inversión previa en tecnología para que estas puedan funcionar, (Santillán y Rentería, 2018), es decir, que se debe adquirir dispositivos con la tecnología necesaria para que se puedan conectar a internet. La falta de compatibilidad entre dispositivos puede ser un problema para la implementación, ya que pueden estar diseñados para trabajar en la misma función, pero a su vez no ser compatibles. A pesar de que la reducción de costos es una ventaja en la implementación del IoT en la agricultura a mediano y largo plazo, adquirirlas puede ser costoso a corto plazo y muchas zonas rurales no cuentan con un avance tecnológico adecuado, ni oportunidades de financiación de este tipo para la gestión e implementación de las nuevas tecnologías. Por lo tanto, a partir de las tendencias en la forma de obtención de estos conjuntos de datos, es una

necesidad constante de revisar las posiciones y capacidades actuales que involucran los conceptos de IoT de la nueva era en nuestro desarrollo rural. Se deben abordar los requisitos de hoy en día y los sustitutos contraproducentes en el campo de la agricultura con rigurosidad y compromiso con nuestros agricultores y adaptar los cambios exactamente a las expectativas basadas en los conceptos de IoT.

1.4. Tablas y figuras

En esta sección se mostrarán algunas tablas o gráficos de las implementaciones ya mencionadas en la sección 1.1.3. Implementación de Tecnologías IoT en la Agricultura de Colombia.

Por ejemplo, la producción de ahuyama ha venido recuperándose en los últimos años, tanto en el departamento de Sucre (Figura 1a) como en todo el país (Figura 1b), esto debido a la implementación de mejores políticas e incentivos agrícolas para las hortalizas. (Cohen Manrique et al., 2020).

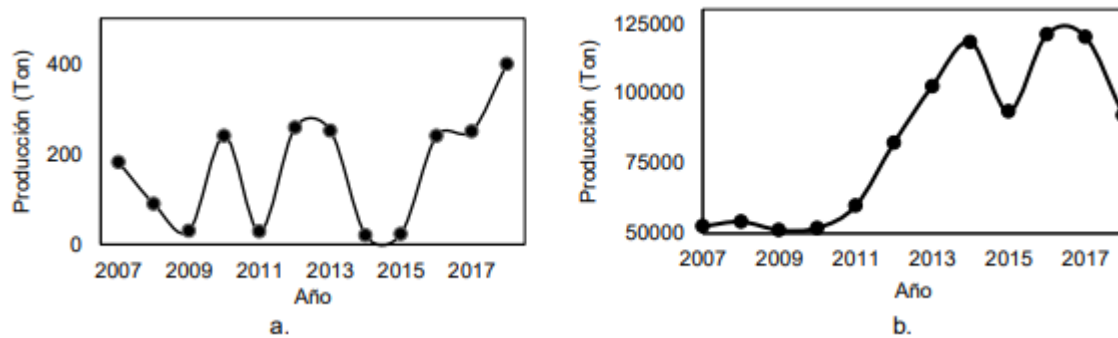


Fig. 1: Datos de producción de ahuyama en el departamento de Sucre (1a) y en Colombia (1b) debido al control de riego a través del IoT (Cohen Manrique et al., 2020).

Parámetros Controlador	
K_p	2
T_i	4.7619
T_d	0.175

Tabla 1: Coeficientes definidos luego de la sintonización del controlador PID a través del IoT (Cohen Manrique et al., 2020).

Humedad Real	0,04702313	0,18805493	0,46994921	0,84545712	1,07994574
Humedad Deseada	0,04712232	0,18808150	0,46988519	0,84553949	1,07994799
Tiempo (Horas)	1	4	10	18	23

Tabla 2: Valores promedio de la humedad real del cultivo y de la humedad calculada por la red WSAN en un día típico mediante el IoT (Cohen Manrique et al., 2020).

Para la implementación del dron que se plantea (Otero Murillo, 2022). para el diagnóstico de la enfermedad de la gota en cultivos de papa en Boyacá, se muestra la siguiente imagen

Plan de vuelo

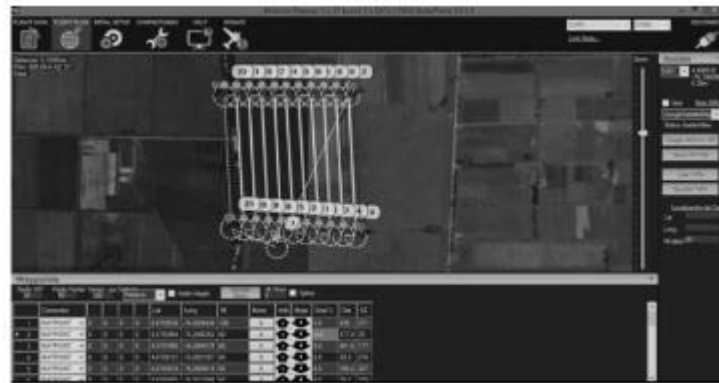


Figura 2. Plan de vuelo sobre el cultivo a través del Software Mission Planer para la adquisición de imágenes mediante el dron P4 Multiespectral-DJI a través del IoT (Otero Murillo, 2022).

Por otra parte, como mencionan en la Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT, se muestra un grafico con el funcionamiento de las 4 capas.

Capas arquitectura Lambda



Figura 3. Vista de implementación de la arquitectura IoT (Quiroga Montoya et al., 2016).

	2010	2011	2012	2013
Potato	839,8	756,5	661,8	722,1
Cane	164,0	159,8	167,6	205,9
Plantains	28,4	39,6	22,8	41,1
Yucca	32,6	27,3	17,7	31,3
Corn	17,3	19,0	16,7	18,8
Bean	6,5	5,5	4,7	4,2
Pear	3,9	15,0	3,7	23,0
Peach	12,7	12,0	14,8	12,9
Guava	9,4	10,1	18,3	9,9
Blackberry	8,6	9,4	5,9	5,7
Plum	11,0	11,4	4,2	9,4
Orange	6,9	8,0	4,7	9,1
Golden Berry	5,5	6,4	4,5	7,8

Tabla 3. Boyacá: Principal producción agrícola (miles de toneladas). (Arias y Antosová. 2018).

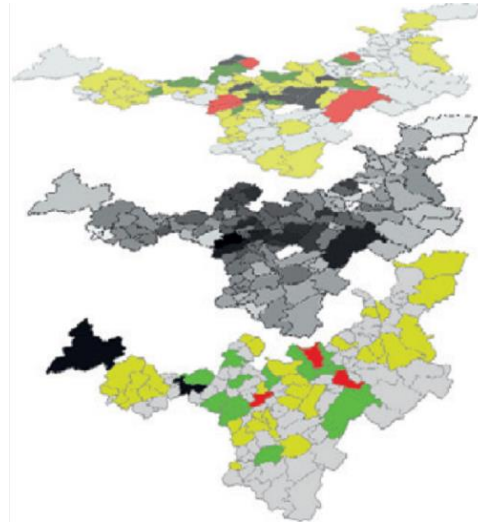


Figura 4. Mapa: Boyacá: Producción agrícola, modelo gravitacional y población. Elaboración mediante el Sistema de Información Geográfico (SIG). (Arias y Antosová. 2018).

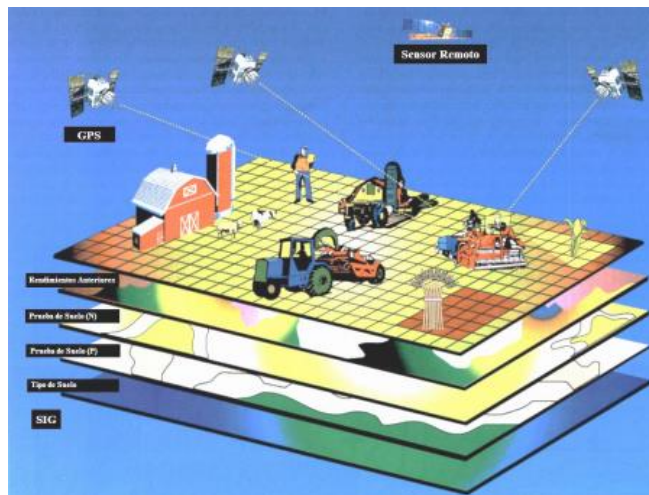


Figura 5. Ilustración de la integración del sensor remoto, Sistemas de Información Geográfico (SIG) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS). (Rodríguez González, 2020).

2. CONCLUSIONES

En conclusión, nuestro análisis está enfocado principalmente en la implementación y cómo el desarrollo de nuevas tecnologías avanza en pro del desarrollo de la industria agrónoma del país, para lo que la agricultura de precisión está marcando una tendencia desde hace aproximadamente 2 décadas y el IoT se ha posicionado como una de las soluciones fiables al sector agrícola, la capacidad de conectar y comunicar distintos dispositivos mejora sin duda el manejo de la información, obtención y la manipulación de datos, ya que podemos acceder a ellos a través de la web desde nuestros dispositivo, tanto equipos portátiles, de mesa, tabletas o móviles. La implementación de la agricultura de precisión también es un movimiento de transformación que utiliza tecnologías inteligentes apoyadas en el internet de las cosas generando beneficios en operatividad para la agricultura, como reducción de costos y aumento de calidad y productividad de cultivos agrícolas. La transmisión de datos a través de una red mediante sensores en el suelo, por ejemplo, ayuda a manipular y optimizar el recurso hídrico para los cultivos, los sensores de temperatura, humedad, radiación, pH, por ejemplo, recogen y envían datos a un servidor para luego ser procesados y visualizados para tomar decisiones pertinentes.

La implementación de drones apoyada con software como ArcGIS y QGIS en la agricultura, representa en la actualidad un gran avance y apoyo para los agricultores, a través de ellos es posible implementar técnicas apropiadas para la interpretación del territorio, determinar áreas cultivables de acuerdo con el tipo de suelo; en la fase del cultivo se puede hacer seguimiento y monitoreo, con el fin de ver el comportamiento en cada una de sus etapas teniendo así la posibilidad de tomar decisiones en puntos críticos de la productividad, con ayuda de los sensores se puede determinar de forma prematura enfermedades, plagas, maleza y posibles futuros daños a causa de cambios bruscos en cuanto al clima. Para el control de plagas se puede establecer las cantidades con mayor precisión de los pesticidas, para el cultivo se puede optimizar el riego y para la productividad y calidad del cultivo se puede establecer la cantidad para los fertilizantes o el abonado.

Es por eso, que la implementación de estas nuevas tecnologías en el sector agrícola está cerrando una brecha a la transformación digital, facilitando aquellas tareas que son dispendiosas y que de manera artesanal pueden ser difíciles y más costosas. Se espera que a mediano plazo se posibilite mayor apoyo en la investigación y se amplie el desarrollo de estas nuevas tecnologías para determinar cuáles son las más adecuadas a implementar en la agricultura de Colombia de acuerdo con cada necesidad establecida por regiones, departamentos o municipios, y que ayudaran a impulsar la industria hacia una agricultura inteligente.

Aunque la implementación de esta tecnología es muy eficaz y viable en nuestro país, es importante mencionar que para que exista una correcta implementación de la misma y un aprovechamiento óptimo, se deben generar una adopción tecnológica correcta, donde el estado brinde recursos, capacitaciones tecnológicas, con la finalidad de disminuir las brechas tecnológicas existentes actualmente en Colombia, y así permitir a esta industria poder entender y aplicar de forma apropiada los recursos disponibles.

Para finalizar, y de acuerdo a la investigación realizada de las diferentes implementaciones que se trabajaron en la presente revisión, se propone implementar una estación central que transfiera datos en tiempo real a través de sensores previamente instalados en campo como ensayo de un cultivo de interés en la zona de realización, y que seleccionados según criterios de calidad ambiental característica del área, indique sobre las condiciones climáticas a tiempo real, se refleje en un aplicativo móvil para ser visualizado remotamente, para lo cual se debe programar previamente una APP que procese estos datos e indique al usuario el estados del cultivo y emita alertas para el riego, fertilizantes, tratamientos, y la dosificación recomendada.

3. REFERENCIAS

- Alfaro, J., Corbachi, A. y Prada, J. (2018). *Análisis del internet de las cosas (IOT) y su aplicabilidad en el control remoto del sistema de riego de la finca La Josefa ubicada en Macondo zona bananera del departamento del Magdalena* [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/6176>
- Anaya Isaza A, J., Peluffo Ordoñez D, H., Rios J, I., Castro Silva J, A., Carvajal Ruiz D, A., Espinosa Llanos L, H. (Noviembre 2017). ‘Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT)’. https://www.researchgate.net/publication/315793360_Sistema_de_Riego_Basado_En_La_Internet_De_Las_Cosas_IoT
- Arias, H. Y., y Antosová, G. (2018). Spatial Patterns of Agriculture in Boyacá. *Apuntes del Cenec*, 37(66), 203–237. <https://doi.org/10.19053/01203053.v37.n66.2019.6013>
- Cadavid, H., Garzón, W., Pérez, A., López, G., Mendivelso, C., Ramírez, C. (2018). Towards a Smart Farming Platform: From IoT-Based Crop Sensing to Data Analytics. In: *Serrano C., J., Martínez-Santos, J. (eds) Advances in Computing. CCC 2018. Communications in Computer and Information Science, vol 885. Springer, Cham.* https://doi.org/10.1007/978-3-319-98998-3_19
- Cevallos Vite, H. A., Vargas Collaguazo, L. A., & Vargas Collaguazo, J. D. R. (2019). Uso de índices espectrales en la agricultura de precisión: caso de estudio campus de la Facultad Técnica de Machala. *Alternativas*. <https://doi.org/10.23878/alternativas.v19i1.195>
- Cohen Manrique, C. S., Burbano-Bustos, A. F., Salgado-Ordosgoitia, R. D., y Merlano-Porto, R. H. (2020). Control de riego en cultivos de ahuyama en Sincelejo, Sucre (Colombia) gestionados a través del Internet de las Cosas. *Información Tecnológica*, 31(5), 79–88. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642020000500079>
- Durán Cantillo, E, O. (2019). *Análisis de la implementación del internet de las cosas en la agroindustria colombiana para optimizar y aumentar los procesos de producción*. [Trabajo pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/12915>
- Espinoza-García, M., Álvarez-Martínez, G., Chora-García, D. (2019). La perfecta combinación de la internet de las cosas y la agricultura de precisión. *Killkana Técnica*. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i2.533
- García Quintero, C. L., Rosado Gómez, A. A., & Durán Chinchilla, C. M. (2018). Revisión de la Aplicación del internet de las cosas en la acuicultura. *Revista Colombiana de Tecnologías (RCTA)* <https://doi.org/10.24054/16927257.v31.n31.2018.2777>
- González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., & Sarmiento, F. (2016). Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión. *Publicaciones E Investigación*, 10, 23–37. <https://doi.org/10.22490/25394088.1585>

- Hernández-Leal E. J., Duque-Méndez N. D. y Moreno-Cadavid J. (Mayo 2017). "Big Data: una exploración de investigaciones, tecnologías y casos de aplicación". *TecnoL.*, vol. 20, n.º 39, pp. 15–38
<https://doi.org/10.22430/22565337.685>
- Kour V. P. y Arora S. (July 2020). "Recent Developments of the Internet of Things in Agriculture: A Survey," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 129924-129957, 2020
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9139962>
- Murtaza Cicioğlu y AliÇalhan. (March 2021). Smart agriculture with internet of things in cornfields, *Computers & Electrical Engineering*, Volume 90, 2021, 106982, ISSN 0045-7906,
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.106982>.
- Núñez-Agurto, D., Benavides-Astudillo, E., Rodríguez, G., & Salazar, D. (2020). Propuesta de una Plataforma de Bajo Costo Basada en Internet de las Cosas para Agricultura Inteligente. *Cumbres*, 6(1), 53-66.
<https://doi.org/10.48190/cumbres.v6n1a5>
- Orozco Sarasti, O. A., & Llano Ramírez, G. (2015). Information systems focused on precision agricultural technologies applicable to sugar cane, a review. *Revista Ingenierías Universidad De Medellín*, 15(28), 103-124.
<https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>
- Otero Murillo, C. E. (2022). Implementación de un dron para tomas de imágenes multiespectrales, que permiten el diagnóstico de la enfermedad de la gota en cultivos de papa en Boyacá. *Memorias*. Recuperado a partir de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/memorias/article/view/4804>
- Quiroga Montoya E, A., Jaramillo Colorado S, F., Campo Muñoz W, Y., Chanchí Golondrino G, E. (Agosto 2016). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, ISSN-e 1696-9895, N.º. 24, 2017, págs. 39-56
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6673698>
- Rodríguez González, L. (2020). *Agricultura de precisión en el mundo y en Colombia: revisión bibliográfica*. [Proyecto de grado Universidad del Valle]. Repositorio Universidad del Valle
<http://hdl.handle.net/10893/19416>
- Ruíz Martínez, W., Díaz-Gutiérrez, Y., Ferro-Escobar, R., y Pallares, L. (2019). Aplicación del Internet de las cosas a través de una red de sensores inalámbricos en un cultivo de café para monitorear y controlar sus variables ambientales», *TecnoL.*, vol. 22, n.º 46, pp. 155–170,
<https://doi.org/10.22430/22565337.1485>
- Santillán O y Rentería Rodríguez M, E. (Abril 2018). La inversión en Agricultura de Precisión (AP) produce mayores ganancias comparada con la agricultura convencional al reducir los gastos de irrigación, control de plagas y fertilización. *Nota INCyTU*
<https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/index.php/notas/sociedad/94-15-agricultura-de-precision-n-2>
- Tovar Soto, J. P., Solórzano Suárez, J. de los S., Badillo Rodríguez, A., & Rodríguez Cainaba, G. O. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, (22), 86–105.
<https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

Urbano-Molano F, A. (Agosto 2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia. *Jou.Cie.Ing.* 5 (1): 46-52, 2013. ISSN 2145-2628.
<https://jci.uniautonomia.edu.co/2013/2013-8.pdf>

Useche C. T y Rodríguez Leguizamo R. S. (2018). *“Prototipo de Solución Iot con Tecnología Lora en Monitoreo de Cultivos Agrícolas”*, [Trabajo de Grado Universidad Distrital Francisco José de Caldas] Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13388>