



Sensores y arquitecturas IoT para caracterización de suelos, revisión sistemática de literatura

IoT sensors and architectures for soil characterization, systematic literature review

Miguel Carrillo Alarcón^{1*}, Omar Alba Hernández¹, Miguel Ángel Sánchez Martínez¹,
Rodrigo Rodríguez Franco¹.

¹Tecnológico Nacional de México/ITS de Xalapa, Sección 5a Reserva Territorial S/N,
91096, Xalapa, Veracruz

*Autor de correspondencia: 217002466@itsx.edu.mx

Recibido 04 mayo de 2022; recibido en forma revisada 26 de julio 2022; aceptado 18 de octubre 2022

Resumen

El internet de las cosas (IoT) se refiere a la conexión de distintos dispositivos electrónicos a través de distintas tecnologías de comunicación que cumple el objetivo de poder compartir datos con el fin de tener un mejor control de todas aquellas cosas que forman parte importante de la vida del ser humano (Rodríguez González, 2013). El IoT como herramienta ha logrado

avances significativos en la agricultura ya que con los distintos dispositivos creados hasta el momento se pueden realizar análisis que permiten una mejor toma de decisiones en aspectos como la aplicación de fertilizantes, riego, prevención de enfermedades en los cultivos, etc. Esta investigación tiene como objetivo analizar diversas arquitecturas conformadas por sensores y otros dispositivos electrónicos diseñados y probados para la medición de las distintas variables del terreno y el clima que son relevantes en el proceso de la producción agrícola y con ello constituir una revisión útil para el desarrollo de otros proyectos donde la introducción de estas tecnologías tenga la mejora de la producción como su objetivo.

Palabras Clave: postgrados, agricultura, sistemas de automatización, Veracruz, CONACYT

Abstract

The Internet of Things (IoT) refers to the connection of different electronic devices through different communication technologies that fulfills the objective of being able to share data in order to have better control of all those things that are an important part of the life of the human being (Rodríguez González, 2013). IoT as a tool to increase productivity has made significant advances in agriculture since with the different devices created to date, it has been possible to carry out analyzes that allow better decision-making in aspects such as the application of fertilizers, irrigation, prevention of diseases of crops, etc., the research aims to analyze technologies such as IoT architectures and other devices and systems developed for precision agriculture projects and thereby constitute a useful review for the development of other projects where the introduction of these technologies for the improvement of agricultural production is the objective.

Keywords: postgraduate education, agriculture, automation systems, Veracruz, CONACYT

INTRODUCCIÓN

El suelo es la parte más visible de nuestro planeta la cual se encuentra en la porción más superficial de la corteza terrestre, está formado por los residuos de la erosión de rocas así como restos orgánicos producto de la desintegración de plantas y animales (ABC Geotecnical Consulting, 2022), según la composición de este puede ser clasificado en distintas categorías, cada tipo es abundante en ciertos elementos pero también puede sufrir la carencia de otros, es aquí donde se hace necesario una caracterización del mismo que permita analizar los elementos químicos de los cuales está formado y que pueden servir para diferentes tipos de cultivos. En la agricultura de precisión se

utilizan dispositivos electrónicos que permiten esta caracterización a través de sensores que pueden registrar la magnitud presente de cada elemento químico en el suelo conforme a una escala preestablecida. De esta manera se pueden registrar parámetros como la acidez del suelo, la humedad, textura, macronutrientes entre otros. Esta caracterización es importante ya que permite determinar, por ejemplo, los requerimientos de fertilizantes que se necesita para determinado cultivo con el fin de lograr mejores objetivos de producción agrícola a futuro. En la agricultura de precisión se han creado distintas arquitecturas integrando sensores, tecnologías de comunicación y

transmisión de datos así como dispositivos de medición que recogen y procesan los datos registrados por los sensores, el objetivo de este artículo es analizar la información obtenida de la revisión sistemática de literatura realizada con la finalidad de conocer las distintas tecnologías y arquitecturas creadas para el análisis de los suelos y que a continuación se verán.

METODOLOGÍA

Para realizar la revisión sistemática de las distintas lecturas y documentos acerca de las arquitecturas IoT y tecnologías asociadas al análisis de los suelos se utilizó la metodología de Kitchenham y Charters (Carrizo et al., 2018), como guía para este proceso de investigación.

Este procedimiento comienza con la determinación de las preguntas que guiarán la investigación y con ello poder clasificar el material bibliográfico de una

mejor manera. Como resultado de este proceso se generaron cuatro preguntas generales y quince subpreguntas que se presentan en la Tabla 1.

Preguntas	Subpreguntas
P1. ¿Como se integra la arquitectura?	¿Qué se presenta?: una arquitectura, una red o sensores En caso de ser una arquitectura, ¿Cuántas y cuales capas define? En caso de ser red, ¿En qué tecnología está basada?
P2.¿ Con que métodos y técnicas se realizan las lecturas del sistema?	¿Cuáles son las variables del suelo que se están midiendo? ¿Con que frecuencia se hacen las mediciones? ¿Se requiere un proceso extra para obtener el valor del parámetro medido? ¿Qué dispositivos de medición se están usando?
P3. ¿Como utiliza la información del sistema?	¿La información obtenida es de forma analógica o digital? ¿Se requiere de algún dispositivo para procesar la información obtenida? ¿Qué tecnología utilizan para la transmisión de datos? ¿La información se puede registrar de manera local? ¿Para qué se está usando la información obtenida? Identifica algún tema abierto.
P4 Que aporta ese artículo a mi trabajo	¿Que hicieron los autores? ¿Qué aspecto puede resolver en mi trabajo? ¿Como podría serme de utilidad?

Tabla 1 .- Preguntas de investigación

Como siguiente paso en el procedimiento se definieron las cadenas de búsqueda a partir de la combinación de las palabras claves que se consideraron más relevante de acuerdo con el tema tratado. Estas se conformaron mediante la adición o eliminación de términos que presentaron mejores resultados al momento de ejecutarlas, las cadenas de búsqueda utilizadas se muestran en la Tabla 2.

IOT AND (architecture or system) AND (measurement or sensing) AND (soil variables) AND (precision agriculture)
(Underground sensing) AND (Sensors for real-time monitoring of soil) AND (IOT) AND (Wireless Sensor Network) AND (architecture or system) AND (measurement or sensing) AND (soil variables) AND (precision agriculture)
(Sensors for real-time monitoring of soil) AND (IOT) AND (Wireless Sensor Network) AND (architecture or system) AND (measurement or sensing) AND (soil variables) AND (precision agriculture) AND (Mexico) AND (soil components)
(agriculture) AND (soil) AND (Wireless Sensor Network) AND (architecture or system) AND (soil variables) AND (precision agriculture) AND (soil components)

Tabla 2.- Cadenas de búsqueda

A continuación, se definieron criterios de exclusión que permitieron afinar la

búsqueda y discriminar los resultados que no eran relevantes para la investigación, los términos que sirvieron para dicha diferenciación fueron:

- machine learning
- irrigation
- data mining

En la Tabla 3, se muestran las bases de datos donde se ejecutaron las cadenas mencionadas anteriormente, así como la cantidad de resultados que se obtuvieron.

En primer lugar, se muestran los resultados sin ningún criterio de exclusión 7,978 artículos totales; posteriormente se limitó la búsqueda a artículos publicados en los últimos cinco años quedando solo 6,404 ; a continuación, se seleccionaron solo aquellos que fueran relevantes a la investigación realizada (677) y que contestaban las preguntas de investigación (44), obteniendo finalmente un total de 16 artículos para nuestro estudio.

	Google Académico	Springer	Sciencedirect	IEEE	ACM	Total
Aplicación de la cadena de búsqueda	3,910	1231	180	452	2205	7,978
Selección por fecha	3,120	1204	163	212	1705	6,404
Aplicación de criterios para descartar	193	175	62	168	79	677
Relevancia	5	15	7	7	10	44
Contestan las preguntas de investigación	4	7	2	4	3	20
Encontrados	4	5	2	2	3	16

Tabla 3.- Bases de datos utilizadas y artículos encontrados en cada una.

Una vez recuperados los distintos documentos, se construyó una matriz para el procesamiento y clasificación de los artículos y la información contenida en ellos:

Figura 1 Parte de la Matriz de clasificación utilizada para examinar los distintos documentos encontrados.

El análisis de los datos contenidos en los distintos documentos encontrados en la investigación; a través de la matriz de clasificación de la Figura 1, permitió llegar a los resultados que se presentan en la siguiente sección.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados a cada una de las preguntas generales que se plantearon al inicio de la investigación, estos se obtuvieron tras realizar el análisis a la matriz con los estudios recopilados en la revisión sistemática de literatura.

Pl. ¿Como se integra la arquitectura?

En la Figura 2 se muestra que en la mayor parte de los proyectos descritos en los documentos lo que se presenta son arquitecturas IoT, por ejemplo (Gaikwad et al., 2021) nos presenta una arquitectura en la cual mediante la combinación de un kit de Arduino y los sensores integrados a este, así como una aplicación para

teléfonos móviles y un servidor de base de datos donde se analizan variables como humedad y temperatura del suelo con el fin de ser utilizado en la agricultura de precisión, otras tecnologías presentadas fueron, sensores en solitario como el de (Mishra et al., 2019) usado para el monitoreo sencillo de temperatura y humedad para reducir las dificultades de los agricultores indios y brindar precisión en la medición de los parámetros de los cultivos, con valores precisos tomados en diferentes intervalos de tiempo, en los análisis descritos por (Li et al., 2019) la reflectometría hace uso de la propiedad de eléctrica del suelo para poder medir la humedad, o el infrarrojo para medir calor y fluctuaciones de humedad , ambos proyectos se usan para el monitoreo de ecosistemas sin embargo es aplicable a la agricultura.

En cuanto al número de capas de las cuales están formadas las arquitecturas

encontradas, en la Figura 3 se puede notar que en la mitad son de 3 capas como la arquitectura implementada por (Khattab et al., 2016) que se compone de: una capa frontal que recopila la información; una capa de puerta de enlace que conecta la capa de front-end a Internet y una capa de backend en la que se lleva a cabo el almacenamiento y procesamiento de datos, las arquitecturas de 4 capas son utilizadas en menor cantidad como en el proyecto de (Montoya et al., 2017) en la cual su arquitectura proponen una capa de captura, capa de almacenamiento, capa de procesamiento y la capa de consulta, sin embargo en algunos casos las capas no están definidas de manera concreta por el autor como en el caso de (Gresl, 2020) el cual describe el diseño e implementación de las diversas tecnologías que conforman su arquitectura pero no delimita las capas que forman su arquitectura.

P2. ¿Con que métodos y técnicas se realizan las lecturas del sistema?

En la Figura 4 se puede ver de manera clara que aunque son muchas las variables que se registran en las distintas arquitecturas las que más se miden fueron humedad, temperatura y luminosidad, solo algunos proyectos usan sensores para medir el PH el cual también es importante para el crecimiento de las plantas.

Los dispositivos de medición más usados son Rasperry Pi como se muestra en la Figura 5, por ejemplo en el proyecto de (Voutos et al., 2018) que hace uso de la Rasperry Pi 3, o en otros casos Arduino, utilizado en el sensor portable de (Gsangaya et al., 2020) el cual uso la placa Arduino Uno R3, sin embargo algunos otros proyectos utilizan dispositivos como Xbee (Guillermo et al., 2019) en el cual sirve como nodo comunicador que recibe los datos y los envía a la puerta de enlace, o iMIGPDL un terminal inteligente de

adquisición de datos que conecta los sensores y los instrumentos de observación (Li et al., 2019).

P3. ¿Como utiliza la información del sistema?

Aquí se encontró que la mayoría de las arquitecturas y dispositivos manejados para la arquitectura de precisión hacen uso de instrumentos en los cuales la información obtenida es digital y que se representa de manera más clara en la Figura 6, por ejemplo en el sistema creado por (Mishra et al., 2019) se usaron los sensores de temperatura y humedad que tienen pines para datos digitales (aunque también contaba con pines para datos analógicos) sin embargo en la arquitectura de (Prakash, 2021) los sensores obtenían la información de forma analógica la cual se envía al microprocesador para su transformación digital.

Para procesar y visualizar la información se utilizaron diferentes dispositivos como fueron los celulares, los cual en la Figura 7 se muestran como los predominantes en los diferentes proyectos, en la arquitectura de (Helfer et al., 2019) el asistente móvil en el cual se visualizan los datos procesados está diseñado para teléfonos inteligentes Android e iOS, en el caso de la arquitectura de (Prakash, 2021) los usuarios pueden acceder a los datos desde la nube iniciando sesión y por el formato de la información presentada, deben hacerlo desde una computadora, sin embargo otros proyectos decidieron crear sitios web accesibles tanto para celulares y computadoras como el caso de (Guillermo et al., 2019) el cual desarrollo su capa de aplicación de manera que permita la accesibilidad desde Android, iOS, Windows Phone y navegador web, a través de lenguajes de programación como HTML, CSS y AngularJS.

En la figura 8 se puede ver que la tecnología dominante en los diferentes proyectos para transmitir información es a través de wifi con un 73% de los proyectos, solo unos casos usaron otras como el bluetooth que en el caso de (Celestrini et al., 2019) lo incluyó entre las varias tecnologías de conectividad que usa, el GSM de la telefonía móvil para conectarse a Internet (Voutos et al., 2018) o el Transceptor nRF24L01 banda ISM de 2,4 GHz que fue elegido para la comunicación inalámbrica por (Khattab et al., 2016) debido a su bajo consumo de energía.

En la mayoría de los proyectos el almacenamiento se hizo en línea usando los diferentes servicios en la nube que existen abarcando un 77% como se nota en la Figura 9, sin embargo, en proyectos como el de (Gaikwad et al., 2021) que al ser un sensor portable debe tener modos de recopilación de datos en línea y fuera de

línea para el caso de situaciones donde no se cuente con red se almacene la información de manera local hasta poder ser enviada a los servicios en línea.

En las diferentes arquitecturas y sensores analizados el uso que se le daba a la información por lo general recaía en 2 tipos de uso tal como se muestra en la figura 10, el primer uso fue el simple monitoreo de variables para optimización de recursos como en el caso de (Mishra et al., 2019) que al ser un sensor todavía muy sencillo (ya que se sigue trabajando en mejoras) únicamente se dedica a recolectar datos sobre humedad y temperatura, sin embargo en arquitecturas más avanzadas se realiza una aplicación de reglas automatizadas con los datos obtenidos, ejemplo de ello es (Khattab et al., 2016) que después del análisis de los datos obtenidos por los sensores, el sistema es capaz de tomar la acción adecuada, como rociar químicos o fertilizantes, regar las

plantas, etc. Esto se implementa a través de un conjunto de actuadores y controladores mecánicos que se utilizan para controlar bombas y rociadores.

P4 ¿Que aporta ese artículo a mi trabajo?

En conjunto, la literatura obtenida mediante la búsqueda sistemática realizó un aporte significativo en los siguientes rubros:

- Conocimiento de las arquitecturas IoT y sus diferentes configuraciones
- Tipos de sensores utilizados e información obtenida de los mismos
- Proceso de recolección de información de los sensores para posterior análisis y monitoreo
- Conocimiento sobre redes de sensores subterráneas, concepto, funcionamiento y la diferencia

entre estas y los sensores que serán necesarios para hacer los análisis.

- Hasta el momento no se han documentado mediante publicaciones en las bases de datos consultadas arquitecturas que a un bajo costo analicen los nutrientes del suelo dedicado a los cultivos.

Conclusiones

Los sensores y las distintas arquitecturas IoT que hasta el momento existen, han sido creadas para lograr la optimización en el uso de recursos agrícolas, así como para mejorar la producción del campo. Sin embargo, muchos de estos proyectos utilizan una alta cantidad de recursos económicos y solo en algunos casos el desarrollo a bajo coste fue determinante. Además, en la mayoría de los proyectos la medición de macronutrientes se encuentran ausentes ya que muchos de ellos se enfocan en aspectos como

humedad, temperatura, luminosidad, etc., por lo cual estos aspectos son áreas de oportunidad en el desarrollo de arquitecturas IoT, en esto es de lo que está basado mi proyecto de caracterización de suelos a través de IoT que busca conocer los niveles de macronutrientes en la zona montañosa central de Veracruz, México con el menor costo posible y con ello conocer la situación de los mismos que permita tomar decisiones más acertadas como la elección y cantidad de fertilizantes o incluso el tipo de cultivos idóneos según las características del suelo.

A continuación, veremos algunas graficas que resumen la información hallada y que es la que permitió llegar a los resultados y conclusiones anteriormente mencionados:

Integración de las tecnologías aplicadas a la agricultura

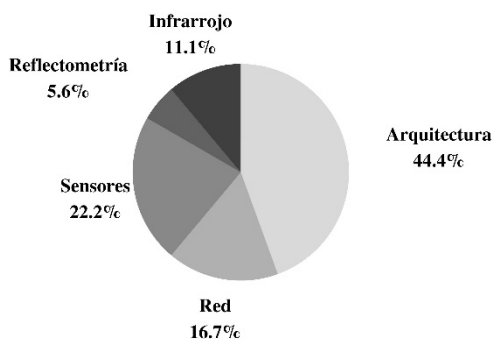


Figura 2 Para la pregunta ¿Como se integra la arquitectura? los datos encontrados y representados son: Dispositivos más utilizados en la creación de soluciones tecnológicas que aplicadas a la agricultura

Variables medidas en las arquitecturas

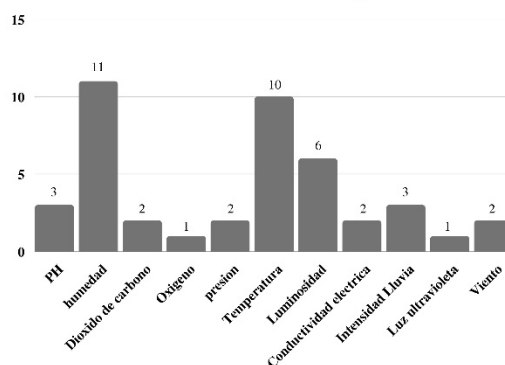


Figura 4 Para la pregunta ¿Con que métodos y técnicas se realizan las lecturas del sistema? los datos encontrados y representados son: c) Las variables más medidas en las arquitecturas y demás propuestas tecnológicas encontradas, la humedad, la temperatura y la luminosidad se podrian considerar básicas para los agricultores y expertos en el tema.

Numero de capas que forman a las arquitecturas encontradas

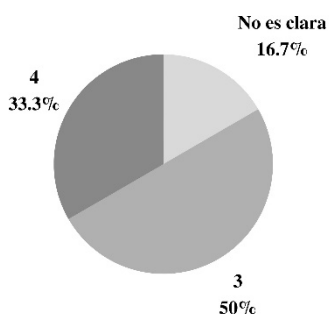


Figura 3 Para la pregunta ¿Como se integra la arquitectura? los datos encontrados y representados son: Numero de capas más comúnmente usadas para conformar las arquitecturas encontradas en la RSL, la opción mas sencilla (3 capas) fue usualmente la más utilizada.

Dispositivos usados para las mediciones

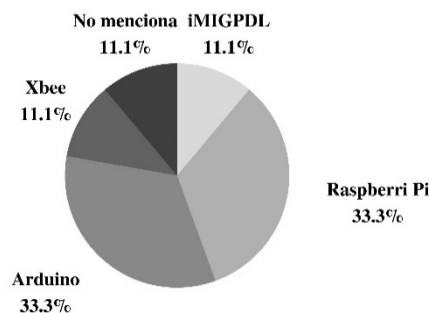


Figura 5 Para la pregunta ¿Con que métodos y técnicas se realizan las lecturas del sistema? los datos encontrados y representados son: d) Dispositivos más utilizados para llevar a cabo las mediciones de variables, en esta grafica se hace evidente que Arduino y Raspberri Pi son las tecnologías más usadas debido a la variedad de sensores y dispositivos que se pueden conectar a ellos .

Tipo de información obtenida

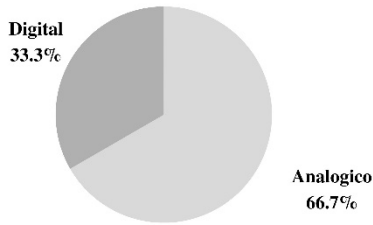


Figura 6 Para la pregunta ¿Como utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: Las distintas tecnologías encontradas recolectan de manera predominante información analógica aunque en muchos de los casos, se transforme posteriormente a digital para un mejor procesamiento.

Tecnologías para transmitir información

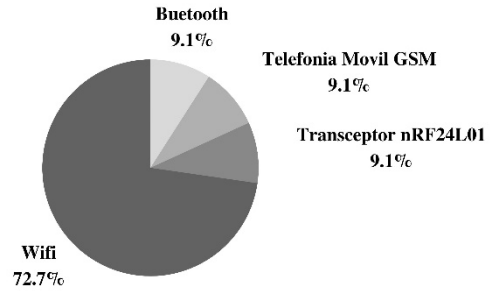


Figura 8 Para la pregunta ¿Como utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: En esta grafica se muestran las distintas tecnologías que han sido utilizadas para la transmisión de datos de los dispositivos que los recolectan a los sitios donde serán almacenados, mostrando que la tecnología Wifi es el medio de transmisión predominante.]

Tecnología usada para procesar y visualizar la información

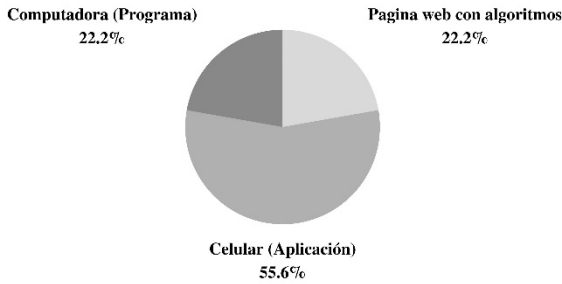


Figura 7 Para la pregunta ¿Como utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: En esta grafica se muestra que tecnologías son más usadas para visualizar la información recolectada así como para procesar esos datos de acuerdo con reglas y normas, haciendo que en lo posterior se puedan mostrar informes que permitan tomar decisiones más precisas.

Almacenamiento de la información

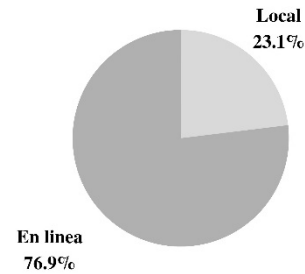


Figura 9 Para la pregunta ¿Como utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: El almacenamiento de la información en los distintos proyectos se realiza mayormente en sitios de almacenamiento en línea y aunque en algunos se guarde la información de manera local en muchos casos se realiza de manera temporal, hasta tener conexión a internet.

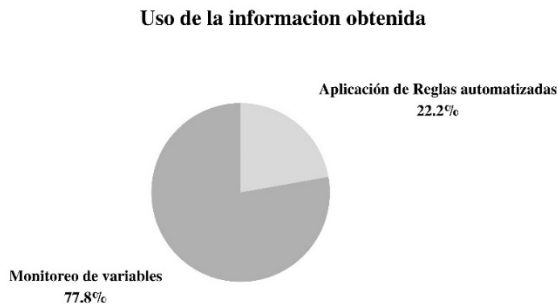


Figura 10 Para la pregunta ¿Como utiliza la información del sistema? los datos encontrados y representados son: La finalidad de la información obtenida, estos datos recolectados son usados predominantemente para el monitoreo de variables con el fin de optimizar los recursos usados en el proceso de producción agrícola, llevando a cabo acciones por parte de agricultores y expertos, sin embargo existen proyectos donde lo recolectado se utilizó con el fin de emplear acciones automatizadas que respondieran a los niveles detectados en ese momento y que de manera automática respondan a través de actuadores y otros dispositivos aplicando una acción predeterminada.

Bibliografía

ABC Geotechnical Consulting. (2022, 20 abril). SUELOS: ORIGEN y FORMACIÓN - ENSAYOS [GRATIS]. Geotecnia y Mecanica de Suelos.
<https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/origen-formacion-suelos/>

Carrizo, D., & Moller, C. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en

Ingeniería de Software: Un estudio de mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26, 45-54.
<https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500045>

Celestrini, J. R., Rocha, R. N., Saleme, E. B., Santos, C. A. S., Filho, J. G. P., & Andreão, R. V. (2019). An architecture and its tools for integrating IoT and BPMN in agriculture scenarios. *Proceedings of the 34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, 824-831.
<https://doi.org/10.1145/3297280.3297361>

Gaikwad, S. V., Vibhute, A. D., Kale, K. V., & Mehrotra, S. C. (2021). An innovative IoT based system for precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106291.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106291>

- Guillermo, J. C., García-Cedeño, A., Rivas-Lalaleo, D., Huerta, M., & Clotet, R. (2019). IoT Architecture Based on Wireless Sensor Network Applied to Agricultural Monitoring: A Case of Study of Cacao Crops in Ecuador. En J. C. Corrales, P. Angelov, & J. A. Iglesias (Eds.), *Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change II* (pp. 42-57). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04447-3_3
- Gresl, J. (2020). IMPROVING SUSTAINABILITY IN AGRICULTURE USING WIRELESS SENSOR NETWORKS. 50. https://cmps-people.ok.ubc.ca/rlawrenc/research/Students/JG_20_Thesis.pdf
- Gsangaya, K. R., Hajjaj, S. S. H., Sultan, M. T. H., & Hua, L. S. (2020). Portable, wireless, and effective internet of things-based sensors for precision agriculture. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(9), 3901-3916. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02737-6>
- Li, X., Zhao, N., Jin, R., Liu, S., Sun, X., Wen, X., Wu, D., Zhou, Y., Guo, J., Chen, S., Xu, Z., Ma, M., Wang, T., Qu, Y., Wang, X., Wu, F., & Zhou, Y. (2019). Internet of Things to network smart devices for ecosystem monitoring. *Science Bulletin*, 64(17), 1234-1245. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.07.004>
- Khattab, A., Abdelgawad, A., & Yelmarthi, K. (2016). Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture. 2016

- 28th International Conference on Microelectronics (ICM), 201-204.
<https://doi.org/10.1109/ICM.2016.7847850>
- Mishra, D., Pande, T., Agrawal, K. K., Abbas, A., Pandey, A. K., & Yadav, R. S. (2019). Smart agriculture system using IoT. Proceedings of the Third International Conference on Advanced Informatics for Computing Research, 1-7.
<https://doi.org/10.1145/3339311.3339350>
- Montoya, E. A. Q., Colorado, S. F. J., Muñoz, W. Y. C., & Golondrino, G. E. C. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, 24, 39-56.
<https://doi.org/10.17013/risti.24.39-56>
- Prakash, M. (2021). REMOTE SENSING AND MANAGEMENT OF IOT-BASED AGRICULTURAL ELEMENTS. 8(2), 10.
<http://www.ijiser.com/paper/2021/vol8issue2/Feb2021p102.pdf>
- Rodríguez González, D. (2013). Arquitectura y Gestión de la IoT. Telemática, 12(3), 49-60.
<https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/119>
- Voutos, Y., Mylonas, P., Spyrou, E., & Charou, E. (2018). An IoT-Based Insular Monitoring Architecture for Smart Viticulture. 2018 9th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 1-4.