

Dispositivo IoT para la Agricultura de Precisión en un Cultivo de Maíz

IoT device to Precision Agriculture in a Corn Crop

Emmanuel Ballesteros^a, Lina M. Aguilar-Lobo^{b,*}

^a Maestría en Ciencias Computacionales, Universidad Autónoma de Guadalajara, Av. Patria 1201, Zapopan CP 45129, Jalisco, Mexico, emmanuel.ballesteros@edu.uag.mx

^b Departamento de Computación e Industrial, Universidad Autónoma de Guadalajara, Av. Patria 1201, Zapopan CP 45129, Jalisco, Mexico, lina.aguilar@edu.uag.mx

* autor por correspondencia

RESUMEN

Tradicionalmente los agricultores se han basado en su intuición y experiencia para llevar a cabo las distintas tareas del campo siguiendo un calendario predefinido dado por la experiencia, por lo que la gran mayoría de los agricultores aplican agua y nutrientes sin tener una medida real de la cantidad necesaria requerida para las necesidades del cultivo. Actualmente, tecnologías relacionadas con el Internet de las Cosas (IoT) permiten implementaciones para que este tipo de tareas en la agricultura sean más eficientes y generen un mayor rendimiento. Mediante la implementación de redes inalámbricas de sensores que permiten medir en tiempo real las condiciones del suelo se pueden tomar decisiones y ejercer las acciones más convenientes de acuerdo a las necesidades del cultivo. Esta técnica es llamada agricultura de precisión, la cual se define como un conjunto de tecnologías para optimizar la producción agrícola a través del manejo de condiciones propias del cultivo y con la cual se logra una aplicación más precisa de insumos como pesticidas, herbicidas y fertilizantes, ayudando a reducir costos y obtener mayores rendimientos, al mismo tiempo que se logra una operación respetuosa con el medio ambiente. En este trabajo se presenta el diseño y validación de un dispositivo IoT de bajo costo, para el monitoreo y control de un cultivo de maíz como parte de una gestión basada en la agricultura de precisión. El dispositivo ha sido diseñado para medir tanto las variables de temperatura y humedad relativa del ambiente, como la humedad y el pH del suelo. La validación se realizó en un cultivo de maíz del Estado de Jalisco, México, y los resultados demuestran un mayor rendimiento de la cosecha.

Palabras clave: Internet de las cosas, Agricultura de precisión, dispositivo IoT.

ABSTRACT

Traditionally, farmers have relied on their intuition and experience to carry out different field tasks following a predefined schedule given by experience, which is why most farmers apply water and nutrients without having an accurate measure of the quantity necessary for the needs of the crop. Currently, technologies related to the Internet of Things (IoT) allow implementations so that these types of tasks in agriculture are more efficient and generate excellent performance. By implementing wireless sensor networks that allow soil conditions to collect data in real-time, it is possible to make the correct decisions according to the needs of the crop. This technique is called precision agriculture. There is a set of technologies to optimize agricultural production by managing crop conditions, with a more precise application of inputs such as pesticides, herbicides, and fertilizers helping to reduce costs and obtain higher yields while achieving an environmentally friendly operation. This work presents the design and validation of a low-cost IoT device for monitoring and controlling a corn

crop as part of a management based on precision agriculture. The device has been designed to measure the environment's temperature and relative humidity, as well as the soil's humidity and pH. The validation was realized on a corn crop in the State of Jalisco, Mexico, and the results demonstrate a higher crop yield.

Keywords: Internet of things, precision agriculture, wireless sensor network.

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

1. Introducción

El Internet de las Cosas o IoT (Internet of Things), por sus siglas en inglés, es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con internet (Silva et al., 2017) Comprende el uso de módulos embebidos adaptados a objetos de uso diario para conectarlos mediante una tecnología de comunicación, generalmente inalámbrica para recolectar datos reales, analizarlos y tomar decisiones de acuerdo a las necesidades o requerimientos de una sistema en particular.

Existen múltiples aplicaciones para el IoT(Khan et al., 2012), y la agricultura es una de las aplicaciones mas usadas actualmente, ya que se puede emplear el IoT para recolectar datos tanto del suelo como de la planta, para ejercer acciones relacionadas con el riego o la fertilización, al mismo tiempo que permite una visualización y control vía remota del estado actual de un cultivo (Auernhammer, 2001).

En la agricultura se requiere lograr una optimización de recursos como el agua y los fertilizantes, debido a que, un gasto excesivo, además de correr el riesgo de dañar el cultivo, representa un mayor costo de producción (Pierpaoli et al., 2013). En este contexto, la agricultura de precisión, es una solución innovadora que permite el uso de diversas tecnologías para solucionar esta problemática, permitiendo maximizar los rendimientos mediante el uso adecuado de los productos requeridos.

La agricultura de precisión se basa en la observación, la medida y la actuación frente a la variabilidad inter e intra-cultivo (Auernhammer, 2001). La información recolectada es empleada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de la siembra, estimar la cantidad adecuada de fertilizantes o de otros insumos necesarios, y predecir con mayor exactitud el rendimiento y la producción de los cultivos. Aplicar la agricultura de precisión permite mejorar e incrementar la producción de los cultivos, de tal forma que se logre una mayor productividad y rentabilidad, una mejor conservación de los recursos y una menor emisión de contaminantes.

La agricultura de precisión tiene sus raíces en la década de 1980 (Negrete, 2018), cuando la capacidad del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se volvió accesible para uso civil. Posteriormente, la evolución de las tecnologías permitió que durante la década de 1990 los usuarios de agricultura de precisión adoptaran el monitoreo del rendimiento de los cultivos para generar recomendaciones de corrección de pH y fertilizantes. Sin embargo, aunque la técnica de agricultura de precisión no es tan novedosa, el desarrollo de nuevas tecnologías como el IoT y la inteligencia artificial, entre otros, logran una efectividad mayor en cualquier tipo de cultivo (Chataut et al., 2023).

Uno de los retos actuales con mayor importancia a nivel mundial, es reducir el consumo de agua en la agricultura, por lo que implementar la agricultura de precisión en los cultivos de maíz, uno de los que tienen mayor presencia en México, es una alternativa viable y de gran importancia, ya que en México existen una gran cantidad de cultivos de maíz (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023).

El maíz es un cultivo de porte robusto, de fácil desarrollo y de producción anual con una longitud elevada pudiendo alcanzar hasta cuatro metros de altura. Se requieren suelos profundos, ricos en

materia orgánica y con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular (Strategies For Successful Corn Planting, s. f.)

En este trabajo se presenta el desarrollo de un dispositivo IoT para la implementación de la agricultura de precisión, de bajo costo, que permite monitorear un cultivo de maíz a través de la medición de variables como la humedad y la temperatura del ambiente, y, la humedad y el pH del suelo del cultivo. El dispositivo diseñado ha sido validado en un entorno real en un cultivo de maíz ubicado en el estado de Jalisco, México

2. Trabajos relacionados

En la literatura se pueden encontrar diversas publicaciones relacionadas con la agricultura de precisión y el uso del IoT en la agricultura, entre otros (Peladarinos et al., 2023).

En (Placidi et al., 2021) se diseñó una red de sensores inalámbricos de baja potencia basada en el protocolo LoRaWAN para una aplicación de agricultura de precisión de bajo costo para monitorear invernaderos. Las variables medidas son la humedad y temperatura del suelo, humedad relativa y temperatura del ambiente. En el diseño se emplearon componentes comerciales y software gratuito o de código abierto y la validación experimental se realizó en un ambiente de laboratorio.

El trabajo presentado en (Kour et al., 2022) presenta un análisis para seleccionar sensores para adecuados para implementaciones IoT en un cultivo hidropónico de azafrán. Los modelos seleccionados se evalúan mediante un simulador para obtener las métricas de desempeño de cada sensor para dicho cultivo.

Una metodología para implementar una arquitectura de red de sensores inalámbricos escalable para el monitoreo y control en un cultivo remoto con el objetivo de lograr una adecuada gestión de recursos hídricos y obtener una mejor productividad es presentado en (Sanjeevi et al., 2020). El trabajo fue validado en un entorno de laboratorio.

Una plataforma IoT personalizable, escalable y confiable fue diseñada para los pequeños agricultores de Nepal en (Lamsal et al., 2023) En esta plataforma se puede visualizar, monitorear y controlar datos en tiempo real sobre los cultivos, el ganado y otros activos agrícolas. La validación se realizó mediante una compativa Blynk IoT y ThingSpeak IoT, logrando un buen rendimiento en tiempo de respuestas, capacidad de almacenamiento y procesamiento.

Una aplicación de IoT para Android, basada en la nube para la agricultura de precisión es presentada en (Dholu & Ghodinde, 2018), la cual incluye también el desarrollo de un nodo sensor para medir la humedad del suelo, la temperatura y la humedad relativa y enviar los datos a la nube para procesarlos, almacenarlos y tomar decisiones para accionar de forma automática la válvula para el riego por goteo.

3. Materiales y Métodos

3.1 Diseño del Dispositivo IoT

El diagrama presentado en la Figura 2 muestra el sistema IoT propuesto para implementar la agricultura de precisión en un cultivo de maíz. Los componentes de este sistema son:

- Una red inalámbrica de sensores de largo alcance y baja potencia distribuida por todo el cultivo. En este caso se propone el uso de la tecnología LoRa.
- Un servidor en la nube para almacenar y procesar la información recolectada por los sensores.
- Un tablero de visualización y control del sistema.

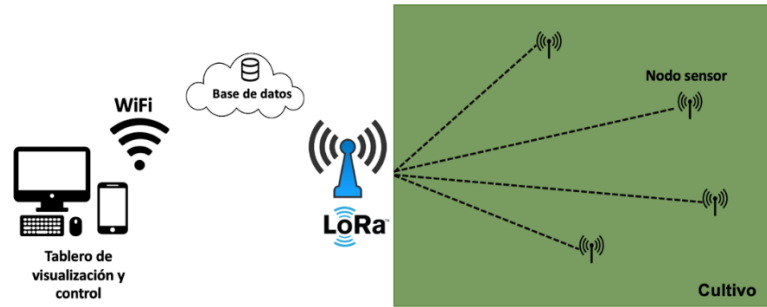


Figura 2. Diagrama general de un sistema IoT para la agricultura de precisión.

El principal componente del sistema propuesto es el nodo sensor, cuyo nombre genérico en la literatura es dispositivo IoT. Para el sistema de agricultura de precisión propuesto en la Figura 2, el dispositivo IoT es el encargado de medir las variables físicas del suelo del cultivo, enviarlos al servidor en la nube para que sean almacenados, y posteriormente procesarlos para tomar las decisiones relacionadas con el proceso de riego del cultivo.

El presente trabajo se centra en el desarrollo del dispositivo IoT para monitorear un cultivo de maíz, como parte de un sistema IoT para la agricultura de precisión. En la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques del dispositivo IoT diseñado.

El dispositivo está compuesto por:

- Un microcontrolador Arduino UNO R3,
- Un sensor de temperatura y humedad,
- Un sensor de pH,
- Un sensor de humedad del suelo y,
- Una batería.

El sensor de pH ha sido agregado debido a que esta variable representa un indicador muy importante y un factor para decidir que nutrientes necesita la planta para que se desarrolle correctamente. El pH influye fuertemente en la forma en que se absorben, desde la raíz, los nutrientes de una planta. Si el pH es demasiado alto o demasiado bajo, los nutrientes no se asimilan de forma óptima. Un valor ideal de pH se encuentra entre 5 y 6.

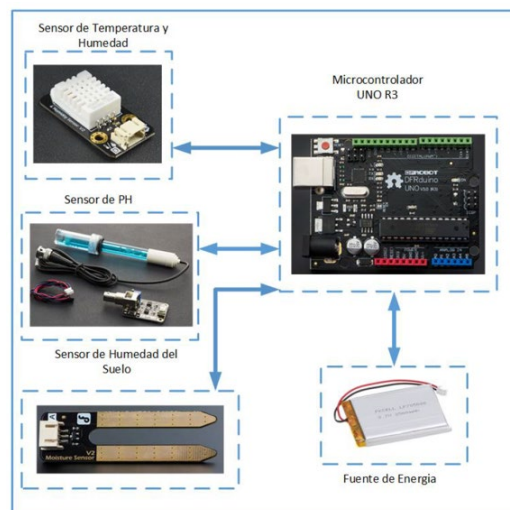


Figura 3. Diagrama de bloques del dispositivo IoT desarrollado.

3.2 Componentes del Dispositivo IoT

Las características particulares de cada uno de los componentes empleados para el dispositivo IoT son las siguientes:

- Microcontrolador Arduino (*Arduino - Home*, s. f.). Con buenas características generales, suficiente capacidad de procesamiento y bajo costo, hacen que sea una tarjeta adecuada para prototipado. Es una plataforma de código abierto basado en hardware y software flexibles, con un microcontrolador ATMEGA328 y dispone de 14 puertos de entrada/salida de propósito general, 6 entradas analógicas, 1 puerto UART. La imagen del Arduino UNO R3 es presentada en la Figura 4.

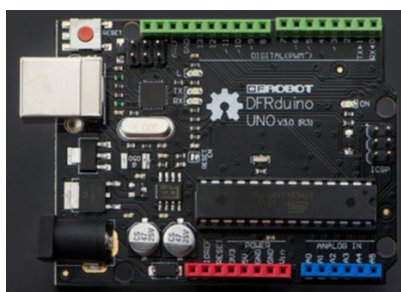


Figura 4. Microcontrolador Arduino UNO.

- Sensor de Humedad y Temperatura ambiental DHT22 (alldatasheet.com, s. f.). Es un sensor digital que utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, generando el valor medido como una señal digital en el pin de datos. Es bastante simple de usar, pero requiere una sincronización para la recolección de datos. El único requerimiento de este sensor es que solo puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, sin embargo, para aplicaciones donde el tiempo no es crítico, como aplicaciones de agricultura de precisión, esta condición es suficiente. Tiene un rango de medición entre -40°C y 80°C , una resolución de 0.1°C . El sensor DHT22 es presentado en la Figura 5.



Figura 5. Sensor de temperatura y humedad DHT22

- Sensor de PH DFRobot Gravity (dfrobot.com, s. f.). Es un medidor de PH analógico diseñado para medir una solución y reflejar su alcalinidad. Se usa comúnmente en diversas aplicaciones como la acuaponía, la acuicultura y las pruebas ambientales de agua. El modelo usado es el V2 el cual es una versión mejorada del V1 que obtiene una mejor precisión y es de uso fácil. El sensor trae integrado un regulador de voltaje y puede ser usado sin requerir soldadura, lo que lo hace adecuado para prototipos. El sensor de pH y diagrama de conexión es presentado en la Figura 6.

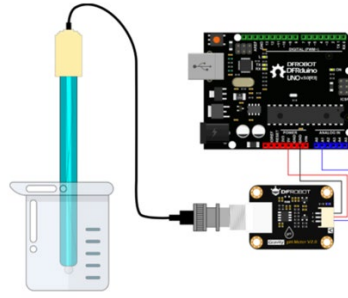


Figura 6. Diagrama de conexión del sensor de pH.

- Sensor de humedad de suelo SKU SEN0114 (dfrobot.com, s. f.-b). Permite leer la cantidad de humedad presente en el suelo. Es un sensor ideal para mediciones en cultivos o jardines. Cuenta con dos sondas para pasar corriente eléctrica a través del suelo circundante, y luego lee la resistencia para obtener el nivel de humedad. Es un sensor de salida analógica y es presentado en la Figura 7.

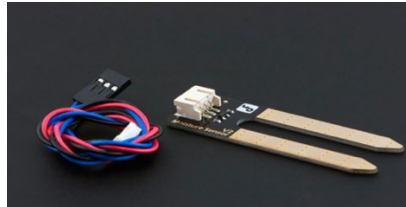


Figura 7. Sensor de humedad del suelo

- Batería. La alimentación requerida para el dispositivo usada para el prototipo es una batería de litio de una sola celda capaz de entregar 3.7 voltios de corriente directa, una corriente de 1200 mA y una descarga sostenida de 2 veces la corriente nominal. Además incluye un circuito impreso con protección contra descargas y sobrecargas para asegurar la vida útil y evitar riesgo de incendio. La batería es presentada en la Figura 8.



Figura 8. Batería de iones de litio.

4. Resultados y discusión

Una vez desarrollado y construido el dispositivo IoT para la agricultura de precisión, este fue instalado en el suelo de un cultivo de maíz del Estado de Jalisco, México, y se recolectaron datos durante un período de tres meses. Estos datos fueron transmitidos al servidor para ser almacenados y procesados.

En la Figura 9 se muestra el prototipo del dispositivo IoT instalado en el cultivo de maíz. Se puede observar que el prototipo comprende una carcasa de protección para los componentes electrónicos que ha sido fabricada en acrílico para que resista las condiciones ambientales y no se dañen los componentes. Los sensores de pH y humedad del suelo se encuentran fuera de la carcasa para realizar las mediciones de estas variables en el suelo del cultivo.



Figura 9. Nodo sensor implementado en un cultivo de maíz.

El procesamiento de los datos fue realizado empleando la herramienta Power BI Report Server, en la cual se puede visualizar el valor medido para cada variable con respecto a la fecha y hora de la medición realizada por el dispositivo IoT.

Para la variable de temperatura los datos medidos se presentan en la Figura 10. Se puede observar el comportamiento a través del tiempo para esta variable, y se calcula el valor promedio, y se obtienen los valores mínimo y máximo. De la misma forma, en la Figura 11 se observan los datos obtenidos para la variable Humedad Relativa.

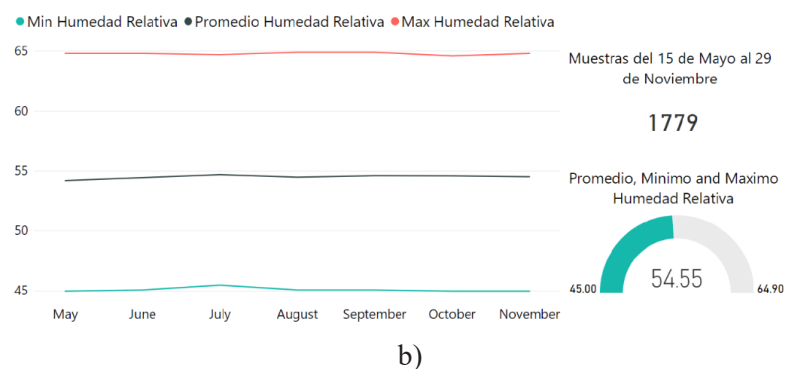
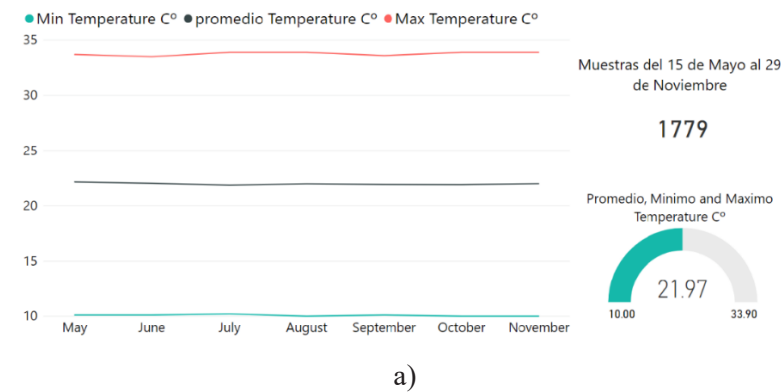
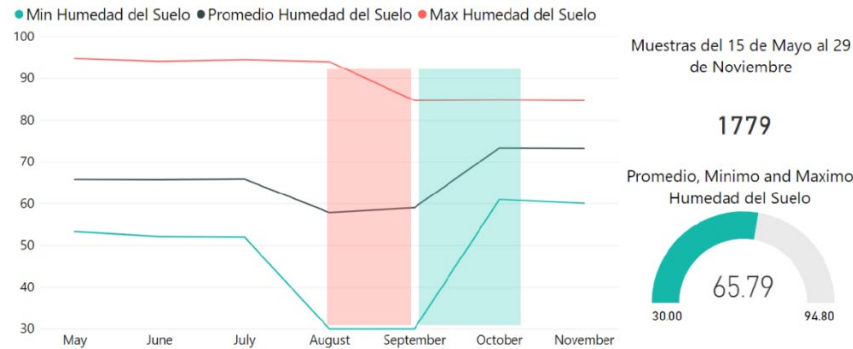


Figura 10. Datos medidos por el sensor de temperatura y humedad relativa del dispositivo IoT.

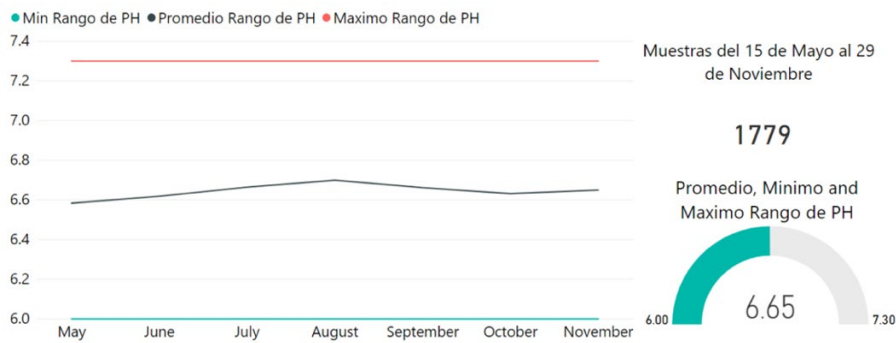
Para la variable humedad del suelo, los resultados se presentan en la Figura 11. Se puede observar que esta variable sufre un cambio significativo en los meses de agosto y septiembre. En la parte sombreada en color rojo de la Figura 11 se observa un decremento considerable en la humedad del suelo, lo cual alertó al agricultor sobre la disminución del agua en el cultivo. Las mediciones obtenidas en la parte sombreada en color verde de la misma Figura 11, muestran el aumento de la humedad del suelo después de la acción implementada por el agricultor, la cual fue agregar suficiente agua por medio de un pozo artesanal para mitigar la escasez de lluvia durante este período de tiempo.



b)

Figura 11. Datos medidos por el sensor de humedad del suelo del dispositivo IoT.

De acuerdo con la ubicación del terreno del cultivo, este tiende a ser ácido en lugar de alcalino, lo cual favorece de manera positiva ya que la mayoría de los nutrientes pueden ser absorbidos al 100% por la planta, principalmente en suelos que tienen un pH entre 6 y 7. Esto se puede observar en la Figura 12 donde se muestra el comportamiento de la variable pH, donde se muestra que esta variable no sufre un cambio significativo durante el tiempo de vida del cultivo.



b)

Figura 12. Datos medidos por el sensor de pH del dispositivo IoT.

Se realizaron diversas pruebas de campo en el cultivo de maíz, durante varias etapas del desarrollo del cultivo. Por ejemplo, en la Figura 13a se observa el dispositivo IoT en campo durante las primeras etapas del cultivo, donde es de suma importancia conocer los valores de pH, temperatura y humedad del suelo. En la Figura 13b se observa la planta en etapa 2, mostrando un crecimiento óptimo debido que todos los nutrientes se aplicaron de acuerdo a las necesidades

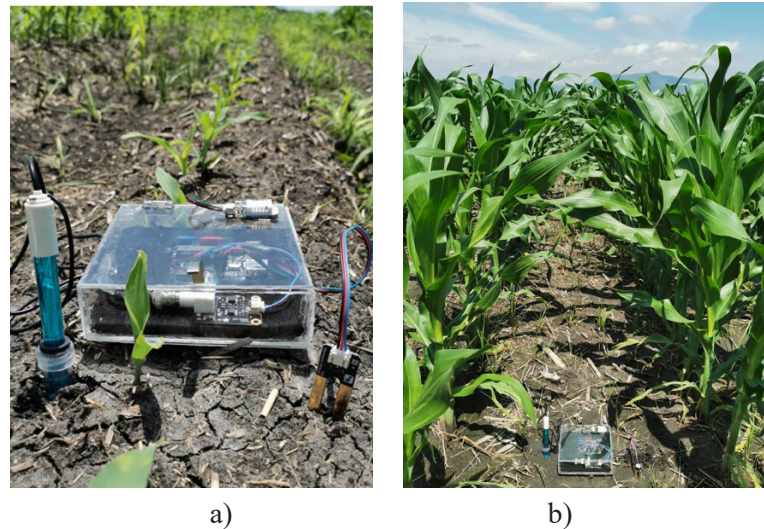


Figura 13. Pruebas de campo del prototipo del dispositivo IoT. A) Mediciones en las primeras etapas del cultivo. B) Mediciones en las últimas etapas del cultivo.

Posteriormente, en las últimas etapas del cultivo, tal como se muestra en la Figura 13, se puede observar la planta mucho mas grande. En estas etapas finales es donde son visibles los estigmas del maíz, comúnmente llamado espigas, comienzan los primeros elotes y el grano se empieza a llenar de un líquido blanco, como se muestra en la Figura 14a. En esta etapa es de vital importancia que el cultivo tenga una humedad del suelo por arriba del 50%, ya que el llenado del elote y el grano requieren en su mayoría agua. La Figura 14b muestra la planta de maíz en demostración en verde, lo cual consiste en abrir una mazorca y pelarla para contar el número de carreras o líneas de granos que tiene y validar que el llenado fue correcto.



Figura 14. a) Formación del elote. b) Demostración en verde en la planta de maíz.

En la etapa de cosecha, la planta se encuentra lista para ser sometida al proceso de trilla, el cual consiste en usar una trilladora para recolectar y desgranar las mazorcas, y almaenar los granos en un compartimento llamado tolba para posteriormente ser transportado a una báscula, silo o almacén para su debido uso ya sea alimenticio o de forraje. En la Figura 14b se compara la mazorca del cultivo intervenido con el dispositivo IoT con otras mazorcas que corresponden a cultivos no intervenidos. Se puede observar que el tamaño, largor y grosor de la mazorca del cultivo que fue monitoreado por medio del dispositivo IoT (central de la Figura 16) es mayor que el de las mazorcas que no fueron

atendidas por ningún dispositivo tecnológico (laterales de la Figura 16). En lo cultivos no intervenidos, los procesos de riego de forma tradicional, en intervalos de tiempo preestablecidos de acuerdo a la experiencia o intuición del agricultor, sin tener conocimiento alguno sobre la humedad, temperatura y pH del cultivo. Esta actividad de forma tradicional representa un gasto innecesario de agua en caso de que el suelo del cultivo tenga la humedad suficiente requerida, al mismo tiempo que no asegura una mayor cosecha.

Durante la cosecha, la cantidad de semilla recolectada fue colocada en una báscula. El proceso consistió en tomar 6 surcos de ida y 6 de venida, para el cultivo que fue monitoreado con el dispositivo IoT y para el cultivo que no fue intervenido. Se realizaron mediciones para obtener la longitud de los surcos y se pesó el maíz recolectado. Finalmente se calcularon todos los datos importantes durante la cosecha, los cuales son presentados en la Figura 15. Entre los parámetros mas importantes están el rendimiento por kilo y el rendimiento por hectárea puede observar que el cultivo intervenido por el dispositivo IoT (Antilope) obtuvo un mayor rendimiento que el cultivo no intervenido.

La validación del dispositivo en un cultivo del estado de Jalisco y los resultados evaluados durante la cosecha demuestran un rendimiento mayor comparado con un área de cultivo no intervenida. Aunque la diferencia no parezca tan significativa, demuestra que se obtiene un mayor rendimiento considerando que, en caso de que el dispositivo sea usado en la totalidad del área del cultivo, este rendimiento será mucho mayor. Adicionalmente, el hecho de conocer el estado real del suelo del cultivo, permite aplicar el riego solo cuando el suelo lo requiera, logrando un ahorro significativo de agua, principalmente en grandes cultivos de grandes áreas.

FICHAS DE REGISTRO IMPRESO DE UTILIZAR										BREVANT	
Producción: <u>Maíz, Calleseros</u>					Fecha de cosecha: <u>29-NOV-19</u>					BREVANT	
Localización: <u>Antilope</u>					Fecha de siembra: <u>25-MAR-19</u>					BREVANT	
Código por lote: <u>25-MAR-19</u>					Código por lote: <u>25-MAR-19</u>					BREVANT	
Parcela	Nº de parcelas	Superficie (m²)	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Superficie (ha)	Superficie (m²)	Superficie (ha)
B3732	12	196	.75	1361	2335	15	13236	13082	83.00		
Antilope	12	194	.75	1796	2480	15.2	79,203	14,004	105.000		

Figura 15. Comparativa de resultados obtenidos con dos cultivos, el intervenido por el dispositivo IoT (Antilope) y el no intervenido (B3732).

5. Conclusiones

Con el presente trabajo se logró el desarrollo de un dispositivo IoT de bajo costo y fácil implementación que permite monitorear variables físicas como temperatura y humedad relativa del ambiente, pH y humedad del suelo para un cultivo de maíz en el estado de Jalisco, México. Con base en los datos recolectados, se implementó correctamente el riego controlado del cultivo para mantener los niveles óptimos en estas variables. La validación del dispositivo fue realizada en un área de cultivo específica y los resultados fueron comparados con un área en la que no se instaló el dispositivo IoT.

Los resultados demuestran que el rendimiento por Kg de maíz obtenido es mayor en el área intervenida. Esta implementación demostró que la implementación de un dispositivo IoT es una herramienta funcional y versátil para controlar el crecimiento óptimo de un cultivo. Los resultados obtenidos después de la cosecha, demuestran que la implementación de la tecnología en el sector agrícola es muy positiva ya que permite aumentar considerablemente la producción y calidad de la cosecha, al mismo tiempo que ayuda a disminuir los gastos de operación, y el ahorro de nutrientes. Este aumento se ve reflejado en ganancia económica para el agricultor y motiva al uso constante de este tipo de tecnología. Un mayor rendimiento de la cosecha y mayor ahorro de agua puede ser

obtenido al implementar mas dispositivos IoT a lo largo de toda la superficie del cultivo.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés

Referencias

- alldatasheet.com. (s. f.). DHT22 Datasheet, PDF. Alldatasheet. https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Dht22&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwo8S3BhDeARIsAFRmkOO6y1ZGHAQuq3gsvWAXgj3-TtWUpcM0o6OuPgY2jVMnWjf5ZgtznooaAtnrEALw_wcB
- Arduino - home. (s. f.). <https://www.arduino.cc/>
- Auernhammer, H. (2001). Precision farming — the environmental challenge. *Computers And Electronics In Agriculture*, 30(1-3), 31-43. [https://doi.org/10.1016/s0168-1699\(00\)00153-8](https://doi.org/10.1016/s0168-1699(00)00153-8)
- Chataut, R., Phoummalayvane, A., & Akl, R. (2023). Unleashing the Power of IoT: A Comprehensive Review of IoT Applications and Future Prospects in Healthcare, Agriculture, Smart Homes, Smart Cities, and Industry 4.0. *Sensors*, 23(16), 7194. <https://doi.org/10.3390/s23167194>
- dfrobot.com. (s. f.). Gravity: Analog pH Sensor/Meter Kit V2 (Arduino & Raspberry Pi & micro:bit Compatible). <https://www.dfrobot.com/product-1782.html>
- dfrobot.com. (s. f.-b). Gravity: Analog Soil Moisture Sensor for Arduino. <https://www.dfrobot.com/product-599.html>
- Dholu, M., & Ghodinde, K. (2018). Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application. 2018 2nd International Conference On Trends In Electronics And Informatics (ICOEI). <https://doi.org/10.1109/icoei.2018.8553720>
- Khan R., S. U. Khan, R. Zaheer and S. Khan, "Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges," 2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology, 257-260.10.1109/FIT.2012.53.
- Kour, K., Gupta, D., Gupta, K., Anand, D., Elkamchouchi, D. H., Pérez-Oleaga, C. M., Ibrahim, M., & Goyal, N. (2022). Monitoring Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Approach to Sensor Selection and Hydroponic Saffron Cultivation. *Sensors*, 22(22), 8905. <https://doi.org/10.3390/s22228905>
- Lamsal, R. R., Karthikeyan, P., Otero, P., & Ariza, A. (2023). Design and implementation of internet of things (IoT) platform targeted for smallholder farmers: from Nepal perspective. *Agriculture*, 13(10), 1900.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023, 21 abril). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019.. <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/607/study-description>
- Negrete, J. C. (2018). Internet of things in Mexican agriculture; a technology to increase agricultural productivity and reduce rural poverty. *Research and Analysis Journal*, 1(02), 40-52. <https://www.rajournals.com/index.php/raj/article/view/8>
- Peladarinos, N., Piromalis, D., Cheimaras, V., Tserepas, E., Munteanu, R. A., & Papageorgas, P. (2023). Enhancing Smart Agriculture by Implementing Digital Twins: A Comprehensive Review. *Sensors*, 23(16), 7128. <https://doi.org/10.3390/s23167128>
- Pierpaoli, E., Carli, G., Pignatti, E., & Canavari, M. (2013). Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. *Procedia Technology*, 8, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.protec.2013.11.010>
- Placidi, P., Morbidelli, R., Fortunati, D., Papini, N., Gobbi, F., & Scorzoni, A. (2021). Monitoring Soil and Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Original Modeling Approach Dedicated to Low-Cost Soil Water Content Sensors. *Sensors*, 21(15), 5110.

<https://doi.org/10.3390/s21155110>

- Sanjeevi, P., Prasanna, S., Kumar, B. S., Gunasekaran, G., Alagiri, I., & Anand, R. V. (2020). Precision agriculture and farming using Internet of Things based on wireless sensor network. *Transactions On Emerging Telecommunications Technologies*, 31(12). <https://doi.org/10.1002/ett.3978>
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2017). Internet of Things: A Comprehensive Review of Enabling Technologies, Architecture, and Challenges. *IETE Technical Review*, 35(2), 205-220. <http://dx.doi.org/10.1080/02564602.2016.1276416>
- Coulter, J. (2021). Strategies for successful corn planting.. UMN Extension. <https://extension.umn.edu/corn-planting/strategies-successful-corn-planting>