






Sistema de Monitoreo de Variables Ambientales en un Invernadero basado en IoT

IoT-based Environmental Variables Monitoring System in a Greenhouse

-  **Andrea González-Sánchez**, es estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México Campus Celaya Gto. (México) (m2203037@itcelaya.edu.mx), (<https://orcid.org/0000-0002-9022-8118>), Máster.
-  **Juan José Martínez-Nolasco**, es profesor de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México Campus Celaya Gto. (México) (juan.martinez@itcelaya.edu.mx), Doctor.
-  **Coral Martínez-Nolasco**, es profesor de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México Campus Celaya Gto. (México) (coral.martinez@itcelaya.edu.mx), Doctora.
-  **Víctor Manuel Sámano-Ortega**, es profesor de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México Campus Celaya Gto. (México) (victor.samano@itcelaya.edu.mx), Doctor.
-  **Ricardo Yáñez-López**, es co-asesor de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México Campus Roque Gto. (México) (ricardo.yl@roque.tecnm.mx), Doctor.

Recepción: 14-10-2024

Aprobación: 23-10-2024

Resumen: La agricultura en entornos protegidos ha cobrado cada vez más importancia en los últimos años, debido a la necesidad de una producción sostenible de alimentos que pueda hacer frente a los retos impuestos por el cambio climático y la escasez de recursos. A medida que estos retos globales se agravan, las soluciones tecnológicas se vuelven esenciales para garantizar que los cultivos puedan crecer en condiciones controladas y optimizadas. En este contexto, la monitorización ambiental dentro de los invernaderos desempeña un papel crucial, ya que permite no sólo mejorar el crecimiento y la salud de los cultivos, sino también maximizar el uso eficiente de los recursos disponibles, como el agua y la energía. De este modo, la monitorización contribuye a la sostenibilidad y la gestión eficiente de las operaciones generales del invernadero, haciéndolo más productivo y menos dependiente de factores externos impredecibles. Este trabajo presenta una propuesta de monitorización de variables ambientales dentro de un invernadero, utilizando tecnología basada en el Internet de las Cosas (IoT). Este sistema está diseñado para recoger datos en tiempo real de una serie de variables físicas esenciales para el óptimo funcionamiento del invernadero. Entre las variables monitorizadas se encuentran la temperatura, medida en grados centígrados (°C); la humedad relativa, expresada en porcentaje (%); y los niveles de dióxido de carbono (CO₂), medidos en partes por millón (ppm). Estos datos se recogen mediante sensores especializados que se interconectan a través de un sensor modular inteligente, que permite la comunicación inalámbrica entre todos los componentes del sistema. Se crea así una sólida infraestructura IoT que facilita la recopilación y el análisis de datos, mejorando la toma de decisiones. El sistema de monitorización propuesto ha demostrado su eficacia en las pruebas realizadas en el invernadero, cumpliendo las expectativas iniciales en cuanto a su capacidad para medir e informar de las condiciones ambientales con precisión y en tiempo real. Sin embargo, durante el proceso se identificaron ciertas lagunas de oportunidad que podrían abordarse para

mejorar aún más los resultados obtenidos. Estas áreas de mejora incluyen la optimización del diseño del sistema y la integración de tecnologías adicionales que podrían hacer la monitorización aún más precisa y completa, lo que a su vez contribuiría a un uso más eficiente de los recursos y a una mayor productividad agrícola.

Palabras clave: Sistema de Monitoreo, Agricultura Protegida, Internet of Things (IoT), Invernadero, Variables Ambientales.

Cómo citar: González-Sánchez, A.; Martínez-Nolasco, J.J.; Martínez-Nolasco, C.; Sámano-Ortega, V. M.; y Yáñez-López, R. (2024). Sistema de Monitoreo de Variables Ambientales en un Invernadero basado en IoT. *Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales*, 6(12), pp. 227-234. <https://doi.org/10.56913/teceo.6.12.227-234>

Abstract: Agriculture in protected environments has become increasingly important in recent years, due to the need for sustainable food production that can meet the challenges imposed by climate change and resource scarcity. As these global challenges worsen, technological solutions become essential to ensure that crops can grow under controlled and optimized conditions. In this context, environmental monitoring within greenhouses plays a crucial role, as it allows not only to improve crop growth and health, but also to maximize the efficient use of available resources, such as water and energy. In this way, monitoring contributes to the sustainability and efficient management of overall greenhouse operations, making it more productive and less dependent on unpredictable external factors.

This work presents a proposal for monitoring environmental variables inside a greenhouse, using technology based on the Internet of Things (IoT). This system is designed to collect real-time data on a series of physical variables essential for the optimal functioning of the greenhouse. Among the variables monitored are temperature, measured in degrees Celsius (°C); relative humidity, expressed as a percentage (%); and carbon dioxide (CO₂) levels, measured in parts per million (ppm). This data is collected by specialized sensors that are interconnected through a smart modular sensor, which enables wireless communication between all system components. This creates a robust IoT infrastructure that facilitates data collection and analysis, improving decision making.

The proposed monitoring system has proven effective in the greenhouse tests, meeting initial expectations in terms of its ability to measure and report environmental conditions accurately and in real time. However, certain opportunity gaps were identified during the process that could be addressed to further improve the results obtained. These areas for improvement include optimizing the system design and integrating additional technologies that could make the monitoring even more accurate and comprehensive, which in turn would contribute to more efficient use of resources and higher agricultural productivity.

Keywords: Monitoring System. Protected Agriculture, Internet of Things (IoT), Greenhouse, Environmental Variables.

Introducción

“Los sensores inteligentes desempeñan un papel fundamental al proporcionar datos en tiempo real sobre diversos factores y permite la recopilación de datos obteniendo la capacidad de analizar y tomar decisiones con base a la estadística” [Gustavo Monte, (2017)].; En este contexto las variables como la temperatura, la humedad y otros parámetros cruciales son imprescindibles ya que nos aportan una visión exacta del comportamiento dentro del invernadero

Estos aspectos críticos para garantizar el éxito de los cultivos. La creciente demanda de alimentos de alta calidad y la necesidad de una producción más sostenible han llevado al desarrollo de sistemas avanzados de monitoreo y control preciso; Lo cual nos permite hacer frente a uno de los grandes desafíos de la agricultura moderna.

En este artículo, se presenta una propuesta de un sistema de monitoreo que emplea un sensor inteligente para conocer el comportamiento de variables ambientales en invernaderos, presentado como una herramienta que ayuda a la mejora de eficiencia de la producción agrícola, reduciendo con esto el impacto ambiental.

Método

La agricultura tradicional es la forma más antigua de cultivo y se caracteriza por el uso de métodos y herramientas manuales o impulsadas por animales. “Actualmente, la agricultura ha evolucionado mejorando utilizando una variedad de tecnologías que son aplicadas para que los productores puedan predecir el rendimiento de la cosecha y de esta manera tomar decisiones más eficientes en los cultivos”. Este tipo de agricultura se denomina de precisión [SGS, 1977].

La agricultura de precisión “utiliza tecnología de vanguardia para optimizar la producción agrícola mediante tecnología de posicionamiento global, sensores avanzados, sistema autónomo, representando la última frontera en la mejora de la productividad y la gestión inteligente de los cultivos” [Shang-Feng, Du, (2018)].

Las tecnologías de monitoreo y control aplicadas en la agricultura de precisión se conforman de sensores capaces de supervisar varios parámetros simultáneamente como temperatura, humedad y nutrientes en el suelo. Otro punto importante Internet de las Cosas (IoT) y Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real con sensores antes mencionados conectados a una red IoT transmiten datos en tiempo real a una plataforma central. La agricultura de precisión se ha convertido en una parte integral de la agricultura moderna y continúa evolucionando con la innovación tecnológica.

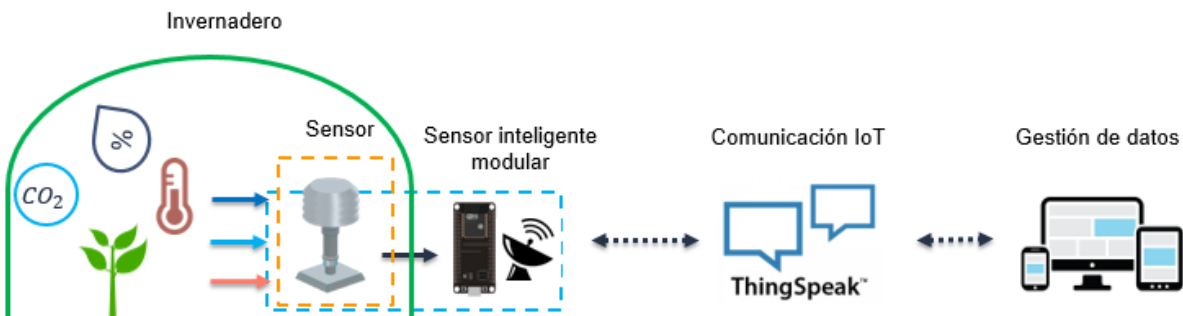
La creación del sistema se trabajó en un invernadero de tipo túnel localizado en Instituto Tecnológico de Roque; el cual cultiva pimiento morrón; las dimensiones son de 10m de largo por 5m dando un total de 50m² de superficie cultivable; por lo que, durante el proceso de este proyecto de selección e implementación de sensores, se conformó un equipo multidisciplinario, que con su apoyo logramos hacer la debida instalación y conseguimos las siguientes etapas que la componen:

1. Se seleccionó de componentes para el circuito eléctrico.
2. Se diseñó entorno el circuito eléctrico de acuerdo en arreglo un software de un integrado para captura esquemática y de diseño de PCB.
3. Se diseñó el prototipo en 3D para la implementación de los sensores mediante un software tipo CAD de diseño mecánico.
4. Se estableció una comunicación inalámbrica entre sensores inteligentes basada en el protocolo Wifi para generar una red inalámbrica local.
5. Se configuró un servidor en la nube para la recepción, tratamiento, almacenamiento y despliegue de datos procedentes de las variables humedad, temperatura y CO₂.

En la siguiente Figura 1, titulado "Desarrollo del sistema de monitoreo con sensores inteligentes" ofrece una visión panorámica de cómo trabaja el sistema en que se trabajó en este artículo. Su

propósito es destacar las transformaciones clave en la capacidad de reconfiguración de estos sensores y su impacto en la precisión y eficacia del monitoreo ambiental.

Figura 1. Desarrollo del sistema de monitoreo con sensores inteligentes



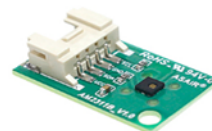
Se inició este proyecto con la identificación de variables ambientales específicas que son críticas para el funcionamiento del invernadero y el crecimiento de los cultivos como temperatura, humedad y niveles de CO₂,

La selección de sensores se buscó de manera que fueran adecuados para cada variable ambiental según su precisión, confiabilidad y compatibilidad con el sistema de reconfiguración son los siguientes AM2301B para la medición de temperatura y humedad, el sensor de calidad del Aire y Gas Digital CJMCU-811 CCS811 VOC CO.

Figura 2. Sensor CJMCU.

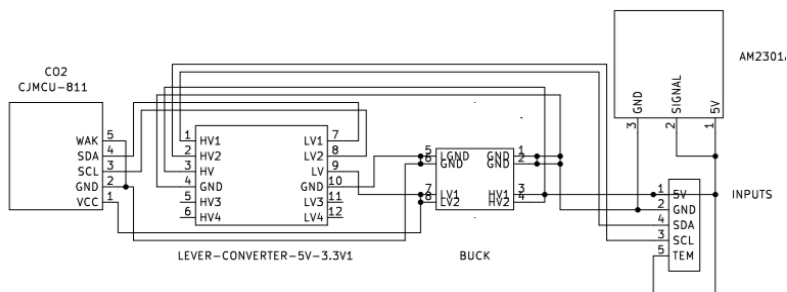


Figura 3. Sensor AM2301B.



Mientras que en el diseño eléctrico se complementa con un nivelador mini 560 ya que este convertidor de nivel lógico bidireccional SparkFun es un pequeño dispositivo que reduce de forma segura señales de 5 V a 3,3 V Y aumenta de 3,3 V a 5 V al mismo tiempo permitiendo proteger a el sensor CJMCU-811 debido a que este sensor su voltaje de operación es de 3.3 V. Complementando el circuito con un Buck Mini 560 Step Down que funciona como regulador de voltaje es perfecto para aplicarlo en el proyecto donde se requiere voltaje menor a 5V, para mantener la potencia que quieras suministrar, por su pequeño tamaño y fácil conexión es considerado como un dispositivo muy versátil y practico a la hora de utilizarlo. En la siguiente figura 3 se observa el diagrama de conexión que se desarrolló para el arreglo que los sensores CJMCU-811 y AM2301B con los componentes electrónicos anteriormente mencionados.

Figura 4. Diagrama del circuito eléctrico.



La creación de la placa PCB se realizó mediante cortadora CNC, fue diseñada para que el área sea óptima y que las distribuciones de las conexiones de los sensores estuvieran alejadas del buck y nivelador como se observa en la figura 5 y 6 debido a que no afectaran con las mediciones de lectura de temperatura, humedad y CO₂ ya que por ser de este tipo de componente electrónicos como el de regulador de voltaje se agrega una temperatura física que podría afectar a las mediciones de los sensores utilizados.

Figura 5. Diseño de placa vista trasera

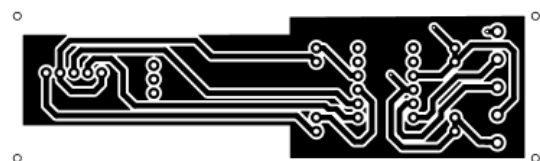
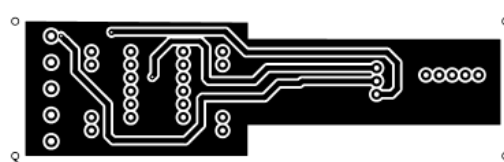


Figura 6. Diseño de placa vista fronta



Otra etapa importante del proyecto fue el diseño del 3D del prototipo que el principal enfoque fue proteger los circuitos eléctricos, así como el resguardo de los sensores a la vez permitiendo que estos puedan presenciar de manera libre el ambiente del invernadero para su correcta medición. El diseño cuenta con un ensamblado practico que cuenta con 5 piezas y se divide por dos partes, la primera es la protección de vista superior que cuenta con platillos unidos de manera paralela haciendo que por eje X sea libre y quede en la intemperie para los sensores. La segunda parte se dominó holding, cuenta con dos piezas que es donde se almacena los circuitos eléctricos, se diseñó de esta manera para que sea fácil abrir si el usuario lo requiere ya sea si el sensor presenta algún fallo de conexión.

Figura 7. Diseño 3D de protección superior del prototipo

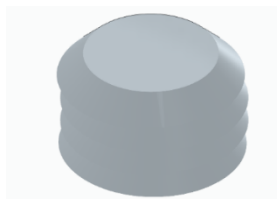


Figura 8. Diseño 3D de holding de prototipo

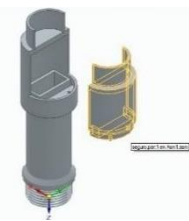


Figura 9. Diseño 3D del prototipo



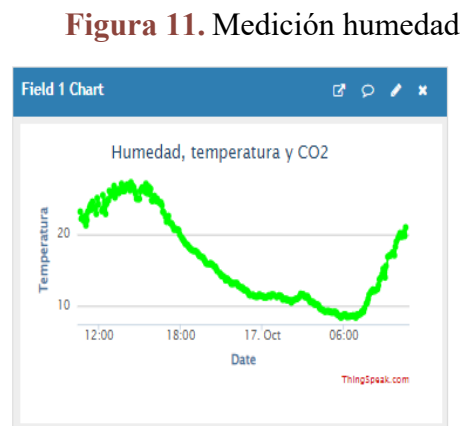
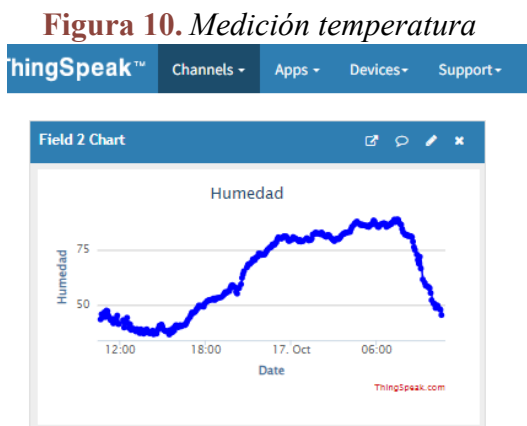
La configuración de comunicación inalámbrica juega un papel significativo para el proyecto debido a que es el propósito para su investigación partimos desde la selección de plataforma “IoT ThingSpeak” adecuada para la recopilación, permitiendo la gestión y comunicación de datos de

sensores mediante el sensor inteligente modular que cuenta con un microcontrolador ESP8266. La integración de sensores a la plataforma IoT elegida utilizando protocolos de comunicación estandarizados (Wi-Fi) y que puedan transmitir datos de forma inalámbrica que se puede visualizar mediante la plataforma en el sitio web y en una app que se desarrolló.

Se realizó la colocación de sensores estratégicamente en el invernadero para garantizar una cobertura integral y evitar interferencias o zonas de sombra obteniendo la captura de datos.

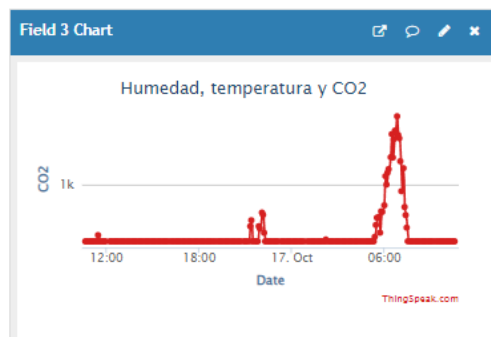
Resultados

Gracias al monitoreo de las variables obtuvimos información que nos proporcionan una visión real del comportamiento a partir del cual tomamos información y decisión, se muestra a continuación en figura 10 medición continua de la humedad relativa y 11 la temperatura la cual se realizó la medición en el invernadero.



Basándonos en los resultados, el sensor de CO₂ CJMCU-811 presenta desafíos sustanciales que lo hacen menos óptimo para aplicaciones que requieran mediciones constantes y precisas de concentraciones de dióxido de carbono. Dos de los principales inconvenientes son la complejidad de la calibración inicial y la variación repentina en las lecturas de ppm.

Figura 12. Medición CO₂



La necesidad de realizar una calibración precisa antes de utilizar el CJMCU-811 de manera constante puede resultar en un proceso tedioso y que requiere tiempo. Esto puede ser un obstáculo

para aquellos usuarios que buscan una solución rápida y sencilla para la monitorización de CO₂. La calibración precisa es esencial para obtener resultados confiables, y su complejidad puede limitar la accesibilidad del sensor para usuarios menos experimentados en el campo de la instrumentación.

Además, la variación repentina y poco predecible en las lecturas de ppm es un problema que afecta la confiabilidad del CJMCU-811. Esto puede deberse a diversos factores, como la temperatura, la humedad y la interferencia de otros gases, lo que resulta en mediciones inexactas y poco confiables. Para aplicaciones donde la precisión es crítica, estas fluctuaciones pueden comprometer la utilidad del sensor.

En cuanto a la medición de la temperatura, el AM2301B ha demostrado una capacidad excepcional para proporcionar datos exactos en tiempo real. Esto es fundamental en numerosos contextos, desde la gestión de invernaderos hasta el control de sistemas de climatización en edificios. Su precisión en la medición de la temperatura permite a los usuarios tomar decisiones informadas para mantener condiciones ambientales ideales, lo que es esencial para la eficiencia energética y el bienestar de las plantas o cualquier otro componente del ambiente monitorizado.

En lo que respecta a la medición de la humedad, el sensor AM2301B también ha demostrado un rendimiento destacable. La humedad es un factor crucial en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la agricultura, la conservación de alimentos y el control de la calidad del aire en interiores. La capacidad de este sensor para proporcionar mediciones precisas y estables de la humedad relativa ha permitido un monitoreo efectivo y la toma de decisiones oportunas para garantizar condiciones óptimas.

Además, la facilidad de integración del sensor AM2301B en sistemas de control y su capacidad para proporcionar datos en tiempo real son aspectos clave que contribuyen a su eficacia. Los datos precisos y actualizados son esenciales para optimizar procesos, mejorar la eficiencia y tomar medidas preventivas en caso de desviaciones de los valores ideales.

Discusión

Es valioso para mejorar la eficiencia y la productividad en la agricultura protegida especialmente la Evaluación de Costos y Beneficios realizando análisis de costo-beneficio para determinar la viabilidad económica de la reconfiguración de sensores en invernaderos y cómo esto puede mejorar la rentabilidad.

La adaptabilidad permite que los sensores se reconfiguren a las necesidades específicas de cultivo, lo que mejora la precisión de las mediciones y la toma de decisiones por consecuencia la eficiencia de recursos al ajustar automáticamente el riego, la iluminación y otros factores en función de los datos de los sensores, se pueden utilizar recursos de manera más eficiente.

La investigación científica puede impulsar la comprensión de las interacciones entre las variables ambientales y el crecimiento de las plantas en condiciones controladas. En resumen, la investigación sobre la reconfiguración de sensores inteligentes para el monitoreo de variables ambientales en invernaderos tiene el potencial de transformar la agricultura protegida al mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la productividad. Sin embargo, se deben abordar desafíos técnicos y económicos para llevar esta tecnología al campo de manera efectiva y accesible para los agricultores.

Referencias

- Agriaffaires.es. (2015). El uso de las TIC en la agricultura. Revista Agropecuaria Agricultura. <https://bit.ly/3SENC7r>
- CJMCU-811 - RevSpace. (s. f.). <https://revspace.nl/CJMCU-811>
- Ei-Hui, L., Yao-Feng, H., Li-Jun, C., & Shang-Feng, D. (2018). Greenhouse environment dynamic monitoring system based on WIFI. IFAC-PapersOnLine, 51(17), 736-740. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.108>
- Foughali, K., Fathalah, K., & Frihida, A. (2017). Monitoring system using web of things in precision agriculture. Procedia Computer Science, 110, 402-409. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.083>
- Han, F. L., Drieberg, M., Mohammad Azam, S. F., Sebastian, P., & Hiung, L. H. (2018). An Internet of Things environmental monitoring in campus. International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), Kuala Lumpur, Malaysia, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICIAS.2018.8540583>
- Monte, G. (2017). Sensores inteligentes: características, evolución e impacto en la sociedad. Revista Argentina de Ingeniería, Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina, Universidad Tecnológica Nacional.
- SGS. (2020). Agricultura precisión: un servicio para optimizar los resultados de la cosecha. <https://bit.ly/3vQL39f>
- AM2301B Humidity and Temperature Module Data Sheet. (n.d.). <https://en.sekorm.com/doc/3063314.html>Nota: Tablas y figuras seguir los lineamientos establecidos por APA 7ª Edición-