

Monitoreo remoto de temperatura, humedad y radiación lumínica para un cultivo aeropónico bajo invernadero

Remote Monitoring of Temperature, Humidity and Light Radiation for Greenhouse Aeroponic Cultivation

Daniel Felipe López Rendón¹
Emanuel Jaramillo Giraldo²
Jorge Mario Garzón González³

¹ Universidad Católica de Oriente. Email: daniel.lopez7600@uco.net.co

² Universidad Católica de Oriente. Email: emanuel.jaramillo6421@uco.net.co

³ Universidad Católica de Oriente. Email: jgarzon@uco.edu.co

 OPEN ACCESS



Copyright:

©2024. La revista *Ingenierías USBmed* proporciona acceso abierto a todos sus contenidos bajo los términos de la licencia [creative commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) Atribución no comercial SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Tipo de artículo: Investigación.

Recibido: 27-02-2023.

Revisado: 08-05-2024.

Aprobado: 14-05-2024.

Doi: 10.21500/20275846.6334

Referenciar así:

D. F. López Rendón, E. Jaramillo Giraldo y J. M. Garzón González, "Monitoreo remoto de temperatura, humedad y radiación lumínica para un cultivo aeropónico bajo invernadero," *Ingenierías USBMed*, vol. 15, n.º 1, pp. 19–25, 2024.

Disponibilidad de datos:

todos los datos relevantes están dentro del artículo, así como los archivos de soporte de información.

Conflicto de intereses:

los autores han declarado que no hay conflicto de intereses.

Editor: Andrés Felipe Hernández.
Universidad de San Buenaventura,
Medellín, Colombia.

Resumen. En este artículo se presenta el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo remoto para cultivos aeropónicos, su enfoque principal es la medición de variables ambientales (temperatura, humedad y radiación lumínica) para su posterior visualización en una plataforma web. La medición de las variables mencionadas se realiza dada la importancia que tienen al momento de cultivar en ambientes cerrados, en los que las condiciones del invernadero van a influir en el crecimiento de las plantas. Para la realización del sistema se plantea el uso del Internet de las cosas (IoT) y aplicaciones web. Con el uso creciente del IoT y el poco desarrollo tecnológico en el sector agrario, se busca ayudar a los productores en el cuidado de sus cultivos implementando un sistema que permita monitorear las condiciones del mismo para tomar medidas preventivas, generar mayores beneficios y mayor rendimiento en su actividad productiva. Las nuevas tecnologías ayudan a desarrollar proyectos para el sector agrícola que faciliten procesos arduos y de gran consumo de recursos. Desde este enfoque, el aplicativo desarrollado ayuda a obtener mediciones en tiempo real, dando fácil acceso desde dispositivos con conexión a la web, además de permitir al productor a que tome decisiones al respecto.

Palabras Clave. API, cultivos aeropónicos, humedad, internet de las cosas, MQTT, radiación lumínica, temperatura.

Abstract. This article presents the development and implementation of a remote monitoring system for aeroponic crops, where its main focus is the measurement of environmental variables (temperature, humidity and light radiation) for subsequent visualization on a web platform. The measurement of the mentioned variables is carried out given the importance they have when cultivating in closed environments, where greenhouse conditions will influence plant growth. For the realization of the system, the use of the Internet of Things (IoT) and web applications is proposed. With the increasing use of IoT and the little technological development in the agricultural sector, it seeks to help producers in the care of their crops, implementing a system that allows monitoring their conditions, to take preventive measures and generate greater benefits and yield. in their productive activity. New technologies help to develop projects for the agricultural sector, facilitating arduous and resource-intensive processes. From this approach, the developed application helps to obtain measurements in real time, giving easy access from devices with a web connection, in addition to allowing the producer to make decisions in this regard.

Keywords. API, aeroponic crops, humidity, Internet of things, MQTT, light radiation, temperature.

I. Introducción

Hoy en día la demanda de alimentos ha incrementado a nivel mundial, lo que genera preocupación en los cultivos agrícolas por la contaminación de suelo, aire y agua al momento en que los agricultores aplican pesticidas por la necesidad de proteger sus cultivos y sin considerar la toxicidad del producto, lo que conlleva a la contaminación por residuos químicos, lo cual repercute en los terrenos para su posterior uso [1]. La implementación de estos agentes químicos, así como la afección que producen las formas de consumo de productos que afectan al planeta, han influido en la creación y cambios en los hábitos de la población, impulsando formas de cultivo ecológicamente amigables y autónomas [2].

Para intentar aplacar el daño, se han ido desarrollado nuevas técnicas en las que no se involucre la tierra como sistema principal de producción. Las técnicas que más han adquirido fuerza a lo largo del tiempo son las que implementan sistemas aeropónicos, tienen como virtud disminuir el impacto ambiental y maximizar la producción de los cultivos [3]. La aeroponía es el proceso donde se da lugar al cultivo de vegetales en un ambiente aéreo sin necesidad del suelo, en este sistema los vegetales obtienen nutrientes necesarios a través de niebla o aspersión [4]. Una condición importante de esta técnica es que requiere de lugares cerrados, donde el rocío de los nutrientes se realiza en las raíces (colgantes) mediante una disolución acuosa que es llevada a través de una motobomba hacia los aspersores usando un sistema controlado [5]. La principal dificultad con los cultivos aeropónicos es que necesita de monitoreo constante para evitar la muerte de las plantas, por lo que se requiere tener un experto al tanto del cultivo, generando dependencia en las actividades que requieran ser realizadas; además, se pueden introducir sesgos en la calidad de producción por errores de medición manual, que eventualmente causarían una disminución en la productividad del sistema aeropónico.

El uso de la tecnología en los cultivos aeropónicos ha permitido la optimización del proceso, ya que facilita conocer las condiciones a las que se encuentran sometidas las plantas por medio de sensores, según estas mediciones se puede intervenir para favorecer su adecuado desarrollo [6]. Los sensores en los cultivos aeropónicos han ayudado a la planificación y ejecución de tareas, usando pocos recursos y disminuyendo labores humanas dentro de un cultivo [7].

El Internet de las cosas (IoT) es un concepto que se ha desarrollado desde la concepción más simple de la interconexión digital de objetos a través de Internet. A partir de este concepto se han logrado implementar procesos más densos como la combinación de la analítica de datos [8]. Con el crecimiento, aceptación y ventajas que posee el IoT, en diferentes países se han puesto en marcha muchos proyectos relacionados con la

agricultura de precisión mediante redes de sensores que permiten captar variables como temperatura, humedad, dirección del viento, entre otras [9], y mostrarlas en tiempo real en alguna plataforma web, además permite el almacenamiento de los datos para aplicar técnicas modernas de procesamiento de datos e identificar patrones que puedan ayudar a la toma de decisiones o mejorar la productividad de un sistema [10]. Con la implementación del IoT en proyectos aeropónicos se podrán tomar acciones oportunas para mejorar la productividad y disminuir el riesgo de pérdida de los cultivos, manteniendo un control de las condiciones ambientales para su correcto crecimiento [11].

El concepto de agricultura remota, usado en este estudio, y que toma como base los conceptos de cultivos aeropónicos y de IoT, ya ha sido abordado por otros autores, como Méndez-Guzmán et al. [12], quienes desarrollaron un sistema que proporciona información al usuario sobre el estado de diversas variables climáticas y el aspecto del cultivo a través de una aplicación desarrollada para dispositivos móviles Android; por su parte Roffi y Jamhari [13] presentan un sistema que monitorea la distribución de agua, nutrientes, temperatura y luz usando el sitio web de ThingSpeak. A diferencia de estos trabajos, el sistema aquí presentado obtiene las variables ambientales (temperatura, humedad y radiación lumínica) de un cultivo aeropónico de producción bajo invernadero y no de cámaras aeropónicas de pequeña escala en ambiente de laboratorio; además, para la visualización de las variables en tiempo real se desarrolla una aplicación propia denominada Tracking IoT.

II. Materiales y métodos

A. Arquitectura del sistema

Para la realización del proyecto se siguieron varios pasos. El primero de ellos fue la definición de la arquitectura general del sistema, la cual se muestra en la Figura 1, esta arquitectura constituyó la base sobre la cual se desarrollaron los diversos componentes del proyecto.

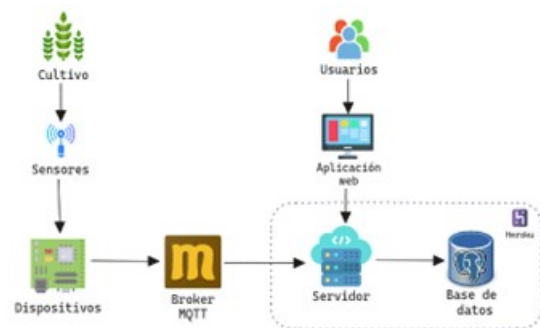


Figura 1. Arquitectura general del sistema

El sistema fue diseñado siguiendo el patrón cliente/servidor, en donde el servidor constituye el núcleo del sistema y se encarga de recibir y procesar las solicitudes

por parte de las aplicaciones cliente; esto permite una gran flexibilidad, dado que diferentes tipos de clientes pueden conectarse al servidor y solicitar datos según lo requieran. Para el caso del sistema planteado, el cliente principal es la aplicación web que permite visualizar las gráficas correspondientes a las variables medidas en el cultivo.

Por otro lado, el *broker* MQTT actúa como un punto de entrada encargado de recibir la información procedente de todos los dispositivos y enviarla al servidor, el cual, a su vez, se encarga de recibir, procesar y almacenar dicha información en la base de datos.

En la Figura 2 se pueden apreciar las entidades definidas en el sistema, allí se observa que la tabla “Medición” es donde se guardan todas las mediciones captadas por los sensores en el cultivo, cada una de ellas asociadas con un *timestamp* que permite identificar con precisión el momento en que se llevó a cabo.

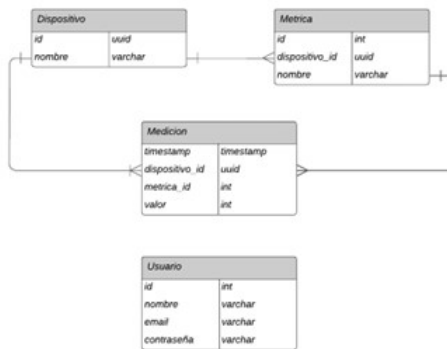


Figura 2. Diagrama de entidades y relaciones

Adicionalmente se cuenta con dos tablas para la gestión de usuarios y dispositivos, las cuales permiten el control de acceso a la plataforma por parte de los usuarios y la gestión de los dispositivos desde la interfaz gráfica.

B. Desarrollo del sistema

Para el desarrollo del sistema la primera etapa fue la selección de los dispositivos para la solución (sensores y placa de desarrollo), para lo cual se realizó una revisión bibliográfica sobre las variables de interés que se deseaban registrar. Además, se tuvo en cuenta el lugar específico en el que está construido el sistema aerópico, en un invernadero de la Universidad Católica de Oriente en Rionegro (Antioquia), ciudad a 2100 m.s.n.m y con una temperatura media entre 13°C y 22°C.

Luego de haber revisado la información recolectada se definieron los elementos a usar, cuya conexión se muestra en la Figura 3. Sus características principales son: el sensor de temperatura y humedad AM2315C que cuenta con una salida digital calibrada con un rango de temperatura entre -40~80°C y un rango de humedad de 0~100%, donde su voltaje de alimentación varía de 2.2 a 5.5 v; el sensor de radiación lumínica BH1750FVI integra un conversor análogo/digital que

realiza el proceso de conversión acorde a la cantidad de radiación en un rango de 0 a 65535 lux; y la placa de desarrollo NodeMCU, que se integra con el chip ESP8266 e incluye el hardware necesario para establecer una conexión del dispositivo a Internet, en cuyo caso será el encargado de recolectar los datos de cada sensor y enviarlos a la plataforma web.

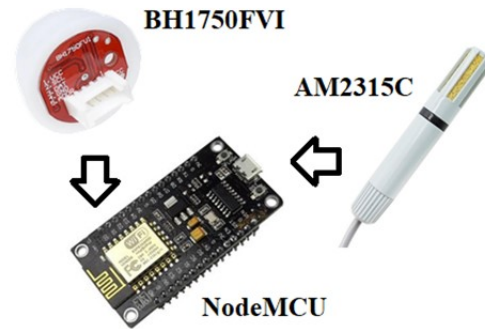


Figura 3. Esquema de conexión de los elementos usados

La programación del NodeMCU se realizó utilizando el editor de código Visual Studio Code con la extensión de PlatformIO, ya que es una herramienta de desarrollo especial para los entornos IoT, esta permite la construcción y desarrollo del código de forma ágil gracias al uso del paquete de librerías preconstruidas.

Una vez construido el dispositivo encargado de las mediciones de las variables ambientales del invernadero, se procede con la creación de la página web, cuyo propósito principal será almacenar los valores enviados por el hardware. A continuación, se procede con la descripción de las tecnologías utilizadas:

Framework Nest js: es un kit de desarrollo para crear aplicaciones escalables y fácil de mantener, debido a su arquitectura modular se usó para el backend de la aplicación.

React: es una librería que facilita la creación de componentes reutilizables, a diferencia de un framework no impone reglas sobre convenciones del código; fue utilizada para el desarrollo de una interfaz amigable para el usuario.

Maqiatto: es el *broker* MQTT seleccionado como intermediario para la comunicación entre la plataforma y el dispositivo implementado, en donde este último publica los datos en el *broker* y la plataforma escucha (suscribe) los eventos.

Postgres SQL: es una base de datos relacional. Fue seleccionada para el almacenamiento de la información, ya que se tiene identificada la estructuración de datos a almacenar y a diferencia de una base de datos no relacional no es necesario tenerla definida.

Heroku: es una plataforma como servicio (PaaS), permite hacer un fácil despliegue de las aplicaciones en un servidor para obtener acceso a la aplicación desde cualquier lugar del mundo.

Con la integración de estas tecnologías, se crea la aplicación Tracking IoT, que se puede ver en la Figura 4 y fue desarrollada en la plataforma Heroku.

Id Dispositivo	Nombre	Localización	Id Sensor	Sensores
1	Aeropónico1	Invernadero UCO	1	Humedad
			2	Temperatura
			3	Luminosidad

Figura 4. Ventana principal de la aplicación

III. Resultados y discusión

El proyecto dio como resultado el desarrollo e implementación de la plataforma web Tracking IoT, que permite registrar las variables de interés tomadas por una placa NodeMCU, además tiene escalabilidad para implementar la cantidad de dispositivos deseados para el monitoreo remoto de cualquier tipo de cultivo bajo invernadero.

Para el uso de la plataforma se tienen varias opciones:

- Crear un dispositivo: la aplicación permite vincular un dispositivo por medio de la pestaña “Crear dispositivo” (Figura 5), donde recibe como parámetros el nombre del dispositivo, su ubicación y la opción de validación para adicionar un sensor (temperatura, humedad o luminosidad).

Crear Dispositivo ✕

Nombre del dispositivo
Digite Nombre

Localización
Digite Localización

Añadir Sensores

Cancelar Crear

Figura 5. Opción para crear un dispositivo

Añadir Sensor ✕

Seleccione el tipo del sensor

Humedad

Luminosidad

Temperatura

Agregar nuevo tipo

Digite Tipo De Sensor

Agregar

Cancelar Añadir

Figura 6. Opción para añadir un sensor

- Añadir un sensor: a cada dispositivo creado se le pueden adicionar tres tipos de sensores por defecto (temperatura, humedad o radiación lumínica) u otros más según las necesidades del usuario, tal como aparece en la Figura 6.

- Búsqueda de los dispositivos: se podrán buscar los dispositivos vinculados con anterioridad por tipo de sensor, localización, nombre o verlos todos, seleccionando alguna de las pestañas mostradas en la Figura 7.

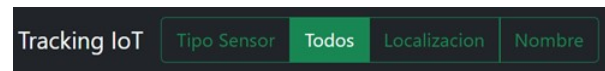


Figura 7. Opción buscar dispositivos

- Información básica de los dispositivos: en la Figura 8 se pueden apreciar las características básicas de los dispositivos vinculados con sus respectivos sensores, además de poder visualizar la última toma de registros con el icono azul.

Id Dispositivo	Nombre	Localización	Id Sensor	Sensores
1	Aeropónico1	Invernadero UCO	1	Humedad
			2	Temperatura
			3	Luminosidad

Figura 8. Información básica de un dispositivo

- Registro de datos: en el apartado de “Ver mediciones” se abre una pestaña emergente (Figura 9), en donde se podrá seleccionar el rango de datos que se desee visualizar (mostrando los datos registrados por los sensores vinculados).

Tracking IoT Tipo Sensor Todos Localización Nombre Escoger tipo de sensor

Fecha Inicial: 2022-10-01 Hora Inicial: 10:42 AM Fecha Final: 2022-10-07 Hora Final: 10:42 AM

Buscar Live

Figura 9. Selección del rango de datos a visualizar

Con la plataforma Tracking IoT el usuario puede realizar un monitoreo remoto de las variables de interés sin necesidad de tener que desplazarse al lugar para tomar las mediciones. Además, la plataforma ofrece la posibilidad de generar históricos de los datos para que posteriormente puedan ser utilizados por el administrador del cultivo para realizar ajustes que permitan unas mejores condiciones de crecimiento para las plantas y, a futuro, en proyectos en donde se podrían ejecutar acciones remotas sobre el cultivo para agilizar el proceso de producción y disminuir la mano de obra.

Después de instalado el dispositivo y de desplegarse la aplicación Tracking IoT, se procedió con la toma de mediciones in situ para probar el funcionamiento y la estabilidad de la plataforma. En las Figuras 10, 11 y 12 se pueden apreciar las mediciones en un rango de

fecha y hora determinado, tomadas por el dispositivo en el invernadero.

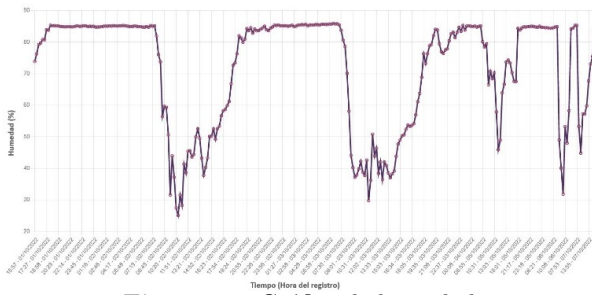


Figura 10. Gráfica de humedad

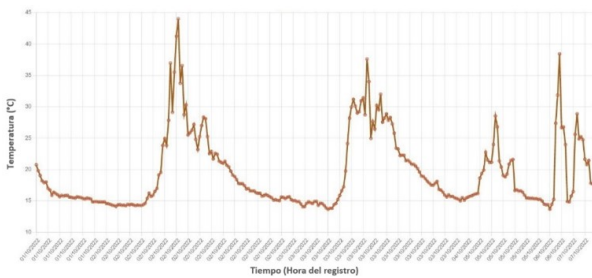


Figura 11. Gráfica de temperatura

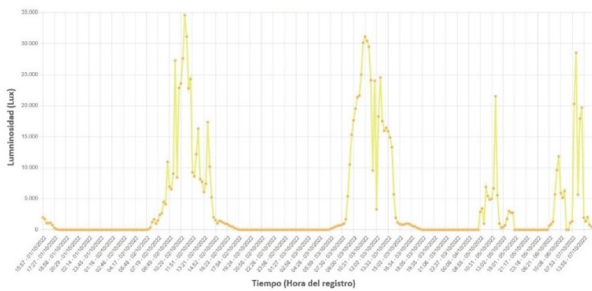


Figura 12. Gráfica de radiación lumínica

Aunque se pueden apreciar las tendencias en estas tres gráficas, también se observan algunos datos atípicos que los autores atribuyen a las sombras que generan los árboles alrededor del invernadero, que pueden variar durante el día, y a que las herramientas de software libre usadas en este proyecto pueden fallar en algunas ocasiones.

Por último se compararon los datos de los sensores con los tomados con los dispositivos externos UNIT UT383, para la medición de radiación lumínica, y UNIT A12T, para la medición de temperatura y humedad, los cuales se muestran en la Tabla 1 y en las Figuras 13, 14 y 15.

IV. Conclusiones

Al momento de comparar los datos obtenidos desde la aplicación Tracking IoT con los tomados con los dispositivos calibrados, una de las principales dificultades que se evidenciaron fue la ubicación de estos últimos,



Figura 13. Gráficas de comparación de temperatura



Figura 14. Gráficas de comparación de humedad

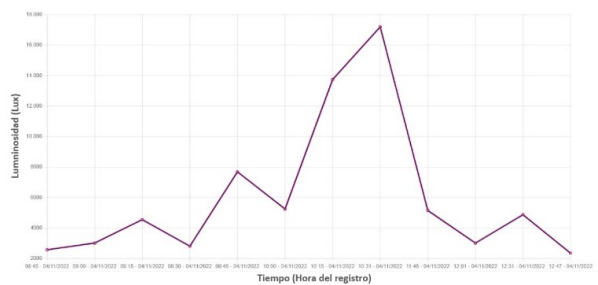


Figura 15. Gráficas de comparación de intensidad lumínica

Tabla 1. Datos tomados con los dispositivos de comparación

Hora del registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Luminosidad (Lux)
8:45	20.70	63	2877
9:00	20.90	57	3124
9:15	21.50	47	3286
9:30	21.50	49	3052
9:45	24.70	45	4646
10:00	22.20	39	5249
10:15	27.00	36	13741
10:30	28.00	34	15000
10:45	31.00	33	5200
12:00	26.00	40	4000
12:15	25.00	50	3800
12:30	25.00	58	5000
12:45	20.66	65	2500

ya que se logró apreciar que entre más cerca de las camas aeropónicas se encuentren, la temperatura y la humedad varían notablemente en comparación con el resto del invernadero. Además, para la medición de radiación lumínica se debe validar que el dispositivo esté orientado de forma perpendicular al suelo para una toma directa de la radiación y no de la reflexión del recubrimiento de las camas aeropónicas.

Algunas perturbaciones en los datos obtenidos por la aplicación Tracking IoT se deben al lugar en donde está ubicado el invernadero, ya que varios lugares tienen sombras de los árboles de alrededor; también, a que se usaron herramientas libres de pago, las cuales presentaron algunas intermitencias en su funcionamiento, generando lapsos de tiempo sin toma de registros.

La escalabilidad de la configuración de dispositivos en el sistema de monitoreo remoto es amplia, dando la oportunidad de cubrir una gran área de siembra, ya que una de las iniciativas que fundamentan el proyecto es el bajo costo de este y su posible escalabilidad tanto en mediciones como en ampliación de procesos que se puedan realizar.

Referencias

- [1] B. Castillo, J. Ruiz, M. Manrique y C. Pozo, "Contamination by agricultural pesticides in crop fields in Cañete," *Rev. Espac.*, vol. 41, n.º 10, pág. 11, 2020.
- [2] B. Pradhan y B. Deo, "Soilless farming - The next generation green revolution," *Curr. Sci.*, vol. 116, n.º 5, págs. 728-732, 2019. DOI: [10.18520/cs/v116/i5/728-732](https://doi.org/10.18520/cs/v116/i5/728-732).
- [3] I. A. Lakhari, "Overview of the aeroponic agriculture - An emerging technology for global food security," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 13, n.º 1, págs. 1-10, 2020. DOI: [10.25165/j.ijabe.20201301.5156](https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201301.5156).
- [4] M. Pala, L. Mizenko, M. Mach y T. Reed, "Aeroponic greenhouse as an autonomous system using intelligent space for agriculture robotics," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 274, págs. 83-93, 2014. DOI: [10.1007/978-3-319-05582-4_7/COVER](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05582-4_7/COVER).
- [5] J. D. Ríos, J. E. Candelo-Becerra y F. E. Hoyos, "Growing arugula plants using aeroponic culture with an automated irrigation system," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 13, n.º 3, págs. 52-56, 2020. DOI: [10.25165/j.ijabe.20201303.5194](https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201303.5194).
- [6] S. Rodríguez, T. Gualotuña y C. Grilo, "A System for the Monitoring and Predicting of Data in Precision Agriculture in a Rose Greenhouse Based on Wireless Sensor Networks," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 121, págs. 306-313, 2017. DOI: [10.1016/j.procs.2017.11.042](https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.042).
- [7] I. A. Lakhari, G. Jianmin, T. N. Syed, F. A. Chandio, N. A. Buttari y W. A. Qureshi, "Monitoring and control systems in agriculture using intelligent sensor techniques: A review of the aeroponic system," *J. Sensors*, vol. 2018, 2018. DOI: [10.1155/2018/8672769](https://doi.org/10.1155/2018/8672769).
- [8] O. Quiñonez, *Internet de las Cosas (IoT) by Oswaldo Quiñonez Muñoz eBook | Perlego*, 1st ed., 2019 [Online]. Available: <https://www.perlego.com/book/2913651/internet-de-las-cosas-iot-pdf>. [Last access: 02-15-2023].
- [9] F. Rahman, I. J. Ritun, M. R. Ahmed Biplob, N. Farhin y J. Uddin, "Automated Aeroponics System for Indoor Farming using Arduino," en *2018 Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2018 2nd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition (icIVPR)*, 2018, págs. 137-141. DOI: [10.1109/ICIEV.2018.8641026](https://doi.org/10.1109/ICIEV.2018.8641026).
- [10] P. B. N. Bolivar *et al.*, "IoT - Based Aeroponic System for Seasonal Plants using Fuzzy Logic," *IEEE Reg.*, vol. 2022, n.º Novem, 2022. DOI: [10.1109/TENCON55691.2022.9977457](https://doi.org/10.1109/TENCON55691.2022.9977457).

- [11] M. Niswar, Z. Tahir, C. Y. Wey et al., “Design and Implementation of IoT-Based Aeroponic Farming System,” en *2022 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom)*, IEEE, 2022, págs. 308-311.
- [12] H. A. Méndez-Guzmán, “IoT-Based Monitoring System Applied to Aeroponics Greenhouse,” *Sensors*, vol. 22, n.º 15, pág. 5646, 2022. DOI: 10.3390/s22155646.
- [13] T. M. Roffi y C. A. Jamhari, “Internet of things based automated monitoring for indoor aeroponic system,” *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, vol. 13, n.º 1, págs. 270-277, 2088. DOI: 10.11591/ijece.v13i1.pp270-277.