

# Automatic Nutrient Dosage System and Variable Monitoring for an Aeroponic Crop

Jorge Garzón, Magíster en Ingeniería<sup>1</sup>, y Dagoberto Castro, Doctor en Ciencias Agrícolas<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>Universidad Católica de Oriente, Colombia, jgarzon@uco.edu.co, dcastro@uco.edu.co

*Abstract- Aeroponic cultivation is a soilless production system, in which plants receive water and macro and micronutrients through an aqueous solution prepared in a storage tank, which is misted into the air and feeds the plant roots. Periodically, manual measurements of electrical conductivity (EC) are carried out, since this allows determining the amount of dissolved salts in the nutrient solution, so that when the value is below a certain level, nutrients are added to avoid malnutrition, or if it is above, water is added to avoid poisoning. This article presents the development and implementation of an automatic system that, through the detection of EC in the nutrient solution of an aeroponic crop, performs the controlled injection of micro and macronutrients, stored as mother solutions, by means of dosing pumps and also allows remote monitoring of different variables of interest through a web platform. It was possible to reduce the time that the person responsible for the crop has to dedicate to replenishing the nutrient solution, as well as the use of water and nutrients. In addition, progress was made in the process of automating aeroponic cultivation, so that the savings in labor, water, and inputs make this type of system economically viable for implementation by small producers.*

*Keywords- Aeroponic cultivation, electrical conductivity, nutrient dosing, nutrient solution, remote monitoring.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Sistema de Dosificación Automática de Nutrientes y Monitoreo de Variables para un Cultivo Aeropónico

Jorge Garzón, Magíster en Ingeniería<sup>1</sup>, y Dagoberto Castro, Doctor en Ciencias Agrícolas<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>Universidad Católica de Oriente, Colombia, jgarzon@uco.edu.co, dcastro@uco.edu.co

**Resumen-** El cultivo aeropónico es un sistema de producción sin suelo, en el que las plantas reciben agua y macro y micronutrientes a través de una solución acuosa preparada en un tanque de almacenamiento, que se nebuliza en el aire y alimenta las raíces de las plantas. Periódicamente, se realizan mediciones manuales de la conductividad eléctrica (CE), ya que esto permite determinar la cantidad de sales disueltas en la solución nutritiva, de modo que cuando el valor está por debajo de un determinado nivel, se añaden nutrientes para evitar la desnutrición, o si está por encima, se añade agua para evitar la intoxicación. En este artículo se presenta el desarrollo e implementación de un sistema automático que, mediante la detección de la CE en la solución nutritiva de un cultivo aeropónico, realiza la inyección controlada de micro y macronutrientes, almacenados como soluciones madre, mediante bombas dosificadoras y además permite el monitoreo remoto de diferentes variables de interés a través de una plataforma web. Se consiguió reducir el tiempo que el responsable del cultivo tiene que dedicar a reponer la solución nutritiva, así como el uso de agua y nutrientes. Además, se avanzó en el proceso de automatización del cultivo aeropónico, por lo que el ahorro en mano de obra, agua e insumos hace que este tipo de sistema sea económicamente viable para su implementación por pequeños productores.

**Palabras clave-** Cultivo aeropónico, conductividad eléctrica, dosificación de nutrientes, solución nutritiva, monitoreo remoto.

## I. INTRODUCCIÓN

Los procesos de urbanización en el mundo crecen a ritmos acelerados. Se espera que en el 2050, la urbanización en países en desarrollo alcance un 67 % [1]. Este fenómeno conduce a un traslado de personas desde zonas rurales hacia la ciudad, lo que genera que actividades como la agricultura disminuyan. Aunque las cosechas sean buenas, los agricultores rurales tienen dificultades para subsistir [2]. Además, el cambio climático provocará procesos de desertificación, degradación de suelos y fenómenos climáticos extremos, lo que afectará significativamente la disponibilidad de recursos naturales para suplir las necesidades de una población en constante crecimiento.

La agricultura tradicional utiliza el suelo como principal medio para la producción de los alimentos, ya que provee sostén, nutrientes y agua para el crecimiento y desarrollo de las plantas [3]. Sin embargo, los problemas mencionados anteriormente llevan a la implementación de sistemas de cultivo no tradicionales, como la hidroponía y la aeroponía, los cuales no requieren grandes extensiones de terreno, optimizan el uso del agua e insumos y logran una mayor eficiencia en la producción de alimentos [4]. Su innovación hace que esta técnica proporcione un adecuado desarrollo al sistema radicular de los cultivos bajo invernadero, presentando un alto

rendimiento y desarrollo; en comparación con los cultivos tradicionales [5]. Estos sistemas posibilitan en las plantas un crecimiento flexible, permitiendo al cultivador un control total sobre el ambiente de crecimiento, incluyendo la zona radicular, con una tendencia a incrementar la eficiencia del uso de agua, conservando así mismo su calidad y apoyando la agricultura ecológica [6].

En los sistemas aeropónicos, se deben de considerar varias variables que son de especial interés para lograr un crecimiento y rendimiento óptimo de los diferentes tipos de plantas cultivadas. Es de especial importancia, la cantidad de nutrientes que se suministran a las plantas durante sus etapas de crecimiento, lo cual está determinado por la conductividad eléctrica (CE), que se mide en la solución nutritiva que se usa para asperjar las raíces, y que da cuenta de la cantidad de micro y macronutrientes que están disueltos en la misma [7]. Aunque las plantas requieren varios elementos, se considera que 17 de ellos tienen importancia para un apropiado desarrollo y crecimiento de las plantas. El nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio son conocidos como macronutrientes (se requieren en mayores cantidades), mientras que el hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y otros son considerados como micronutrientes (se requieren en menos cantidades) [8].

Para medir la CE se usan diversos dispositivos, normalmente el encargado de un cultivo aeropónico emplea un multiparámetro para tomar estas medidas de manera periódica, y, con base en su experiencia, determinar cuándo se deben adicionar nutrientes, agua o reponer por completo la solución nutritiva [9]. Dependiendo del tamaño y distribución del sistema aeropónico, este procedimiento puede demorar desde pocos minutos hasta algunas horas, y genera un desperdicio de solución nutritiva, que conlleva mayores gastos para el productor.

Hoy en día, la agricultura de precisión, la agricultura vertical y el Internet de las cosas (IoT) se encuentran entre los avances agrícolas modernos que tienen como objetivo ayudar a los agricultores de todo el mundo. Estas tecnologías son fundamentales para garantizar que el suministro de alimentos y productos agrícolas pueda soportar la demanda de la creciente población [10]. A través del uso de tecnología, puede mejorarse el proceso productivo en un sistema aeropónico. Esto es, tomando medidas de las variables de interés, automatizando la dosificación de los nutrientes y monitoreando remotamente su comportamiento para estudiarlo y tomar decisiones que permitan mejorar el proceso productivo [11]. Los principales avances, con respecto a la

optimización de los sistemas aeropónicos, están enfocados en la producción de papa [12] y de lechuga [13]; además de investigaciones en torno al monitoreo y control de variables como el pH [14] y la conductividad eléctrica [15].

A medida que se han tecnificado los sistemas aeropónicos, se ha pasado de la dosificación manual de micro y macronutrientes a sistemas automatizados. En estos, mediante soluciones de stock, almacenadas en tanques auxiliares, son inyectados mediante bombas peristálticas o de membrana, y con un sistema inteligente se activan según se requiera, ya sea gradualmente por decisión de un operador o mediante un algoritmo de control haciendo uso de la medición de la conductividad eléctrica [16].

## II. METODOLOGÍA

El sistema aeropónico se construyó en un invernadero de la Universidad Católica de Oriente en el municipio de Rionegro (Antioquia - Colombia), ubicado a 2100 m.s.n.m y con una temperatura media entre 13°C y 22°C. Es importante resaltar, que este invernadero ha sido dotado con todos los servicios necesarios para el desarrollo del proyecto, esto es, suministro de energía, agua e internet.

Para la realización del proyecto, se siguieron una serie de pasos, como se muestra en la Fig. 1, como esquema base, donde se indica de manera gráfica el funcionamiento del sistema de dosificación al tanque de almacenamiento.

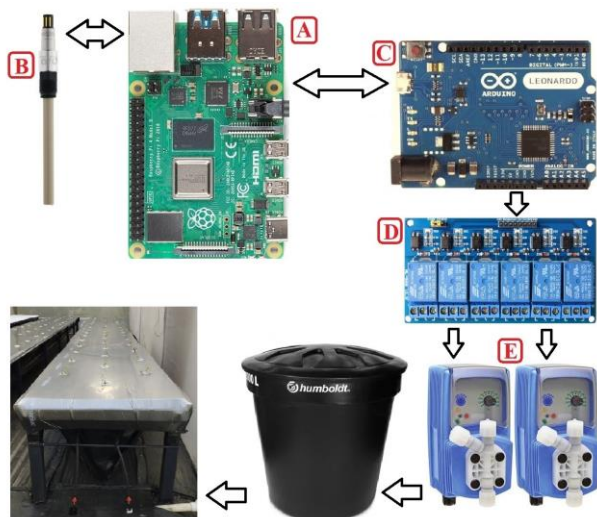


Fig. 1 Esquema general de la dosificación de nutrientes.

Previamente se realizó una consulta bibliográfica, lo que permitió conocer el estado del arte relacionado con la tecnología usada actualmente en los sistemas aeropónicos, específicamente la que tenía que ver con la medición de la conductividad eléctrica (CE) y la dosificación de micro y macro nutrientes.

Con base en lo anterior, se utilizaron los siguientes elementos para la medición de CE: (A) una computadora de

placa reducida Raspberry Pi 4 y (B) un sensor Conducell 4USF Arc 120, marca Hamilton. Para la inyección de los micro y macronutrientes al tanque, donde se almacena la solución nutritiva que se suministra al cultivo aeropónico, se usaron: (C) un Arduino Leonardo, (D) un módulo de relé y (E) dos bombas dosificadoras VCO 0501, marca EMEC, una para los micro y otra para los macronutrientes.

Como valor agregado, posteriormente se implementó la medición del pH y la temperatura en la solución nutritiva. Esto se realizó con la misma Raspberry Pi 4, usando un sensor Polilyte Plus H Arc 120, marca Hamilton. Además, se mide el nivel del tanque de almacenamiento y el consumo de energía del sistema, mediante los sensores DYP-A01 y WCS1800, respectivamente, conectados al Arduino Leonardo.

Por último, se revisaron diferentes plataformas gratuitas que permitieran almacenar y visualizar de manera remota las variables medidas, y se eligió Ubidots debido a que se ajustaba a las necesidades en cuanto a capacidad e integridad.

## III. RESULTADOS

Los sistemas de medición de la CE y de inyección de los micro y macronutrientes se comunican usando sus respectivos puertos USB, bajo un modelo Maestro/Esclavo, en donde la Raspberry Pi 4 envía al Arduino Leonardo un comando cada que requiere que éste realice alguna acción, las cuales serían:

- Comando 1: enviar datos (nivel del tanque de almacenamiento y consumo de energía).
- Comando 2: inyectar agua al tanque.
- Comando 3: inyectar micro y macro nutrientes.

Posteriormente, se llevó a cabo la integración con la plataforma Ubidots y se iniciaron pruebas de estabilidad y ajuste. Debido a que la versión gratuita de Ubidots tiene un límite de almacenamiento de datos, se decidió enviarlos cada 10 minutos. Además, dada la posición del sensor de CE, insertado en la línea de riego después de la bomba de agua, tal como se muestra en la Fig. 2, el valor de la CE solo cambiará después de cada bombeo. Esto significa que la actualización del valor de la CE en Ubidots dependerá del ciclo de riego (bombeo) que el usuario defina para un cultivo en específico.



Fig. 2 Ubicación del sensor de CE.

En la Fig. 3 se presenta la plataforma de monitoreo en funcionamiento. El sistema permite la visualización de la CE, la temperatura en la solución, el pH, el nivel del tanque de almacenamiento y el consumo de energía de todo el sistema, y el comportamiento en el tiempo de cada una de ellas a través de gráficas individuales, cuyos datos pueden ser exportados.

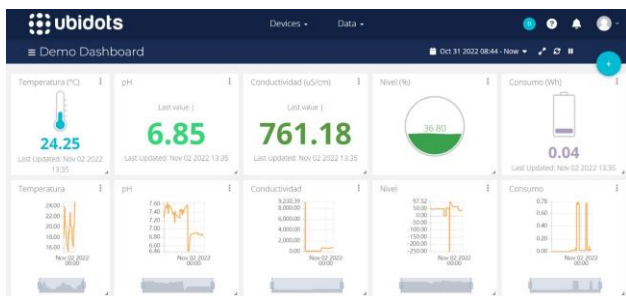


Fig. 3 Monitoreo de las variables en la plataforma Ubidots.

Actualmente, se está llevando a cabo la validación del sistema de dosificación implementado mediante el cultivo de dos especies de arándanos: *Biloxi* y *Emerald*. Estas especies fueron trasplantadas a las camas aeropónicas, tal como se muestra en la Fig. 4, en la fecha del 31 de octubre del 2022.



Fig. 4 Material vegetal de arándanos en las camas aeropónicas.

En la Fig. 5 se pueden ver las plantas después de cinco meses de trasplantadas.



Fig. 5 Plantas de arándanos después de cinco meses.

El desarrollo de las plantas de arándanos ha sido lento durante las primeras fases de desarrollo vegetativo y por lo tanto la CE no varía mucho y por ende no fue necesario llevar a cabo una corrección rigurosa con el sistema de dosificación implementado; a partir del quinto mes las plantas iniciaron la fase de floración donde se ha observado una mayor demanda de nutrientes.

A través de los datos tomados desde la plataforma Ubidots se ha podido observar que la CE y el pH han permanecido entre los valores recomendados para esta etapa de desarrollo de las plantas de arándanos, 1400 uS/cm - 1800 uS/cm y 5.0 – 6.0, respectivamente. Además, al almacenar los históricos del consumo de agua y de energía se puede validar el ahorro del sistema implementado con respecto a los cultivos aeropónicos que no incluyen este grado de desarrollo tecnológico.

#### IV. CONCLUSIONES

El sistema de dosificación implementado tiene la capacidad de suministrar, de manera controlada, los micro y macronutrientes que deben inyectarse en la solución nutritiva del cultivo aeropónico. La resolución del sistema puede variar dependiendo de la cantidad de litros que el supervisor desee preparar, lo que permite mantener la conductividad eléctrica entre los valores deseados según la especie cultivada.

Se está evaluando el monitoreo remoto del cultivo aeropónico mediante la plataforma Ubidots. Esta herramienta se utiliza para hacer un seguimiento a cinco variables de interés y se ha comprobado que posee una estabilidad y facilidad de manejo adecuada para cualquier usuario sin necesidad de conocimientos avanzados.

La automatización del proceso de reposición de la solución nutritiva ha permitido reducir el tiempo que el administrador del cultivo debe dedicar a esta tarea en un 100%. Como resultado, se ha optimizado el uso de agua y nutrientes, logrando una mayor eficiencia en el proceso.

Como trabajo futuro, se propone implementar un control más avanzado para el sistema automático de dosificación. Actualmente se usa un control ON/OFF, que ha permitido mantener la conductividad eléctrica en los niveles deseados, pero cuya respuesta puede no ser la adecuada en posteriores fases de desarrollo de las plantas de arándanos cultivadas.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Católica de Oriente y al Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias) por su apoyo a través del programa “Tecnologías en Agricultura Urbana”, convocatoria 852, contrato 127-2021, proyecto 72137, financiado con recursos provenientes del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas.

## REFERENCIAS

- [1] P. Sadorsky, "The effect of urbanization on CO2 emissions in emerging economies," *Energy Econ.*, vol. 41, no. July, pp. 147–153, 2014, doi: 10.1016/j.eneco.2013.11.007.
- [2] "Migración: Yendo del campo a la ciudad por elección | International Organization for Migration." <https://www.iom.int/es/news/migracion-yendo-del-campo-la-ciudad-por-eleccion> (accessed Jan. 16, 2023).
- [3] "Healthy soils are the basis for healthy food production | FAO." <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/en/c/277682/> (accessed Jan. 16, 2023).
- [4] D. Massa, J. J. Magán, F. F. Montesano, and N. Tzortzakis, "Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe," *Agricultural Water Management*, vol. 241. Elsevier B.V., Nov. 01, 2020. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106395.
- [5] M. Gallardo, A. Elia, and R. B. Thompson, "Decision support systems and models for aiding irrigation and nutrient management of vegetable crops," *Agricultural Water Management*, vol. 240. Elsevier B.V., Oct. 01, 2020. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106209.
- [6] J. N. Estrada Salazar, "Modelo híbrido para la dosificación automática de nutrientes en un sistema aeropónico," 2019, [Online]. Available: [https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77172#.YZ\\_G\\_FsXGlds.mendeley](https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77172#.YZ_G_FsXGlds.mendeley)
- [7] E. Sumarni, P. Priswanto, and Z. Irayani, "Application of Electrical Conductivity (EC) for Some Potato Varieties in the Aeroponically Seed Production with Root Zone Cooling and Evaporative Cooling in Tropical Lowlands," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.*, vol. 11, no. 2, p. 184, 2022, doi: 10.23960/jtep-1.v11i2.184-194.
- [8] S. Kumar, S. Kumar, and T. Mohapatra, "Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants," *Front. Plant Sci.*, vol. 12, p. 753, May 2021, doi: 10.3389/FPLS.2021.665583/BIBTEX.
- [9] A. H. Calori, T. L. Factor, J. C. Feltran, E. Y. Watanabe, C. C. de Moraes, and L. F. V. Purquerio, "Seed potato minituber production in an aeroponic system under tropical conditions: electrical conductivity and plant density," <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1497652>, vol. 41, no. 17, pp. 2200–2209, Oct. 2018, doi: 10.1080/01904167.2018.1497652.
- [10] J. D. Ríos, J. E. Candelo-Becerra, and F. E. Hoyos, "Growing arugula plants using aeroponic culture with an automated irrigation system," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 13, no. 3, pp. 52–56, 2020, doi: 10.25165/j.ijabe.20201303.5194.
- [11] I. A. Lakhari *et al.*, "Overview of the aeroponic agriculture – An emerging technology for global food security," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.25165/j.ijabe.20201301.5156.
- [12] M. H. Tunio *et al.*, "Potato production in aeroponics: An emerging food growing system in sustainable agriculture for food security," *Chil. J. Agric. Res.*, vol. 80, no. 1, pp. 118–132, Jan. 2020, doi: 10.4067/S0718-58392020000100118.
- [13] L. Lucero, D. Lucero, E. Ormeno-Mejia, and G. Collaguazo, "Automated aeroponics vegetable growing system. case study lettuce," *2020 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2020*, Oct. 2020, doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272180.
- [14] S. Kenneth and S. J. Bitar, "Automated pH Monitoring System To be interfaced into Environmental Control Systems," 2013.
- [15] A. P. Montoya, F. A. Obando, J. G. Morales, and G. Vargas, "Automatic aeroponic irrigation system based on Arduino's platform," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 850, no. 1, p. 012003, Jun. 2017, doi: 10.1088/1742-6596/850/1/012003.
- [16] J. C. Woo, D. H. Hak-Jin KimJung, C. I. Kang, G. Choi, and J. Son, "An embedded system for automated hydroponic nutrient solution management," *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.*, vol. 60, no. 4, pp. 1083–1096, 2017.