



*Automatización del control de nutrientes en hidroponía mediante el uso de un sistema embebido*

*Automation of nutrient control in hydroponics through the use of an embedded system*

*Automação do controle de nutrientes em hidroponia através do uso de um sistema embarcado*

Santiago López<sup>I</sup>

[salopez@esPOCH.edu.ec](mailto:salopez@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-2723-9850>

John Vera<sup>II</sup>

[john.vera@esPOCH.edu.ec](mailto:john.vera@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-6621-5368>

Fabián Gunzha<sup>III</sup>

[fabian.gunzha@esPOCH.edu.ec](mailto:fabian.gunzha@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8003-3619>

Edison Freire<sup>IV</sup>

[edivladimir94@hotmail.com](mailto:edivladimir94@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-5930-7494>

Marlon Pujos<sup>V</sup>

[marlondamyan@gmail.com](mailto:marlondamyan@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1831-6209>

**Correspondencia:** [luis.acosta@uho.edu.cu](mailto:luis.acosta@uho.edu.cu)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2022 \* **Publicado:** de 12 julio de 2022

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Investigadores Independientes, Ecuador.
- V. Investigadores Independientes, Ecuador.

## Resumen

El proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo de nutrientes en una solución por medio de los parámetros pH, CE, temperatura y el flujo utilizado en un sistema hidropónico NFT para optimizar el consumo de agua. El control de variables se realiza por medio de una interfaz desarrollada en LabVIEW y una tarjeta Arduino para la adquisición de datos. Se realizan mediciones comparativas para validar el sistema y determinar si es fiable en el uso de posteriores estudios. La comparación de los instrumentos portátiles con los sensores seleccionados es crucial para procesar los datos y seguir evaluando el crecimiento de la hortaliza. Entre los resultados más importantes se determina que no existen diferencias significativas luego del análisis estadístico mediante una prueba de Tukey.

**Palabras Clave:** Hidropónico; Sistema NFT; Monitoreo cultivo; Sistema Embebido; Adquisición de datos; LabVIEW; Arduino.

## Abstract

The objective of the project is the design and implementation of a nutrient control and monitoring system in a solution by means of the pH, EC, temperature and flow parameters used in an NFT hydroponic system to optimize water consumption. Variable control is performed through an interface developed in LabVIEW and an Arduino card for data acquisition. Comparative measurements are made to validate the system and determine if it is reliable in the use of further studies. The comparison of the portable instruments with the selected sensors is crucial to process the data and further evaluate the growth of the vegetable. Among the most important results, it is determined that there are no significant differences after statistical analysis using a Tukey test.

**Keywords:** Hydroponic; NFT system; Crop monitoring; Embedded System; Data acquisition; LabVIEW; Arduino.

## Resumo

O objetivo do projeto é a concepção e implementação de um sistema de controle e monitoramento de nutrientes em uma solução por meio dos parâmetros de pH, EC, temperatura e vazão utilizados em um sistema hidropônico NFT para otimizar o consumo de água. O controle de variáveis é realizado através de uma interface desenvolvida em LabVIEW e uma placa Arduino para aquisição de dados. Medidas comparativas são feitas para validar o sistema e determinar se ele é confiável

no uso de estudios posteriores. A comparação dos instrumentos portáteis com os sensores selecionados é fundamental para processar os dados e avaliar ainda mais o crescimento do vegetal. Entre os resultados mais importantes, determina-se que não há diferenças significativas após a análise estatística por meio do teste de Tukey.

**Palavras-chave:** Hidropônico; sistema NFT; Monitoramento de safras; Sistema Embarcado; Aquisição de dados; LabVIEW; Arduino.

## Introducción

Un sistema hidropónico se basa en el crecimiento de las plantas sin uso de tierra para recibir los diferentes nutrientes, en este tipo de sistemas el uso del agua es el medio de conducción de los nutrientes. El método de hidroponía usa varias técnicas y da un valor nutricional más completo, permite llevar un mejor control de la producción y facilita el desarrollo productivo, sostenible y ecológico de las plantas [1], además muestra un efecto positivo en sus consumidores [2], [3]. Para muchos países la agricultura es muy importante por su aporte económico, sin embargo, existen regiones que deben tecnificar sus procesos para mejorar la calidad y la producción. Los cultivos por hidroponía suponen algunas ventajas sobre el método tradicional como lo es el control de plagas, enfermedades exceso de nutrientes, mejor calidad, aumento de la producción y optimización en el aprovechamiento del área. En este sistema no requiere rotación de cultivos porque no hay problema con el consumo de nutrientes ni desgaste del suelo, las raíces se desarrollan mejor y existe una pérdida de agua mínima. La producción hortícola usa de manera muy intensa la hidroponía por la creciente demanda por alimentos y escasez de suelos generado por la agricultura tradicional. Los sistemas hidropónicos usan tecnología de punta y su inversión suele ser alta, de esta manera es importante realizar la investigación orientada en la mejora de la producción usando este método, en especial en lugares como la sierra del Ecuador. El sistema NFT (Técnica de Película de Nutrientes), es un sistema que este compuesto por un tanque que tiene una solución con nutrientes, un sistema de bombeo, canales de cultivo y el retorno al tanque.

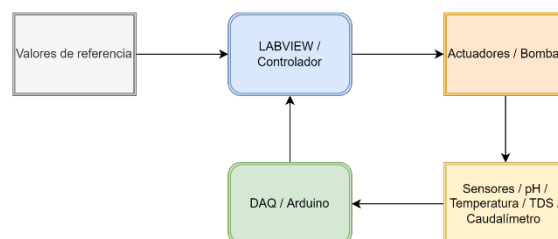
## Metodología

Se hace un resumen de conceptos, criterios de varios autores y el análisis del diseño e implementación de un sistema de monitoreo de variables usando sensores para medir pH, conductividad eléctrica, temperatura y flujo. Por medio de la experimentación sentar las bases para entender el funcionamiento y uso de este tipo de sistema para mejorar el cultivo, controlando una bomba centrífuga.

#### A. Requisitos y especificaciones del sistema

A continuación, se describen las características y especificaciones de los sensores y actuadores y controlador que conforman el sistema. Las mismas fueron determinadas a partir de un análisis de las condiciones de funcionamiento del sistema de cultivo hidropónico y considerando la capacidad de recursos técnicos y económicos para su adquisición. También será muy importante analizar las condiciones externas en las que se va a instalar el sistema, debido a que los sensores deben cumplir con requerimientos de espacio, resistencia, tipos de conectores, precisión, tipos de alimentación, etc. En la siguiente figura se indica las características de las tuberías usadas en el cultivo y la disposición de las plantas.

**Figura 1.** Diagrama de bloques del sistema.



#### B. Medición de parámetros

1. Medición del PH en cultivos Hidropónicos. Mediante el valor de pH se puede conocer si el estado de una solución nutritiva que circula por un cultivo es ácida o básica, esto afecta a las raíces de las plantas en la capacidad de absorción de nutrientes. Los valores determinados en el invernadero de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, después de varias investigaciones, arrojan un rango óptimo entre 5,5 y 6,5 de acidez, el mismo que se debe monitorear para evitar problemas o pérdidas en los cultivos[4]. Un aspecto importante al momento de medir el pH es que se debe entender que se lo relaciona con dos funciones relacionadas al crecimiento de las plantas, la primera relacionada al proceso de óxido-

reducción que afecta la solubilidad de algunos elementos y la segundo relacionada con la absorción de iones realizado por la raíces de la planta siendo esto crítico en la asimilación de nutrientes. [5]

**Figura 2.** Disposición de plantas del cultivo y tuberías utilizadas en el sistema hipódromo



**Tabla i.** Características técnicas de los sensores y actuadores

Característica	Descripción
Controlador del Sensor de pH (pH-metro)	
Modelo	Logo pH Sensor V1.1
Voltaje de alimentación	3.3V 5.5V
Voltaje de salida	0V 3.0V
Conector de probeta	BNC
Conector de señal	PH2.0-3P
Precisión de medición	$\pm 0.1 @ 25^{\circ}\text{C}$
Probeta de pH	
Tipo de sonda	Grado de laboratorio
Rango de detección	0 - 14
Rango de temperatura	5 - 60°C
Punto cero	7 $\pm$ 0.5
Tiempo de respuesta	<2 min
Resistencia interna	<250 M
Longitud del cable	100 cm
Sensor TDS (Total Dissolved Solids)	
Modelo	Grado de laboratorio TDS Meter V1.0
Tipo de sonda	Grado de laboratorio
Rango de detección	0 - 14
Rango de temperatura	5 - 60°C
Tiempo de respuesta	<2 min
Resistencia interna	<250 M
Longitud del cable	100 cm
Sensor de temperatura (Termocupla tipo K)	
Resolución	12 bits / 0.25°C
Precisión	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
Alimentación	3.3V a 5V
Rango	0 a 1024°C
Frecuencia	4.3 MHz
Tiempo de conversión	0.17seg
Interfaz	SPI
Sensor Sensor de Flujo de agua (Caudalímetro)	
Modelo	YF-S201
Tipo	Efecto Hall
Voltaje de operación	5Vdc a 18Vdc
Corriente máxima de operación	15mA
Voltaje de Salida	5V
Velocidad de Flujo	1 a 30 L/min
Precisión	$\pm 10$ Presión Máxima de agua
2.0 MPa	
Conectores de tubería	2"
Diámetro externo	2.25"
Bomba centrífuga	
Modelo	Am 1 MD YF-S201
Caudal Máximo	60 l/min
Potencia	0.5 HP

2. Medición de la temperatura La temperatura también juega un papel importante en el crecimiento de un cultivo, dependerá principalmente de la zona o ubicación del cultivo o si se encuentra al aire libre o protegido con algún medio aislante de su entorno. Su variabilidad también dependerá de las estaciones y de la hora del día, de aquí la utilidad de los invernaderos en los que se hace uso de distintas formas de conservación de los cultivos conservando el calor del interior del invernadero o el uso de métodos de sistemas de calefacción o mediante una ventilación de forma natural. De aquí que se requiere seleccionar un sensor capaz de sensar todas las variaciones de temperatura y trabajar correctamente bajo condiciones límites, se considerará aspectos como temperatura de operación al ambiente donde va a trabajar el sensor y será instalado. [6]

**Tabla II.** Características técnicas de los sensores y actuadores

Cultivo	Conductividad eléctrica Ds/m
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Tomate	2.5
Frutilla	1.0
Apio	1.8

3. Medición de la conductividad eléctrica en cultivos hidropónicos En un cultivo la conductividad eléctrica que se medirá es proporcional al contenido de iones, de tal manera que una reducción será proporcional a una caída proporcional en la cantidad total de iones disponibles para su absorción por las raíces. Por otro lado, algunos componentes como las sales presentarán un valor diferente de conductividad eléctrica. Es así que, para cada formulación habrá una función lineal relacionada C.E. e iones disueltos totales [7]. La conductividad eléctrica al ser una variable de solución nutritiva nos da a conocer la cantidad de sales disueltas en el agua susceptibles de ser medidas en micro Siemens por centímetro (ms/cm) o en partes por millón (ppm), con una variación de valores en el rango de 1400 a 2000 ppm.[4]

#### C. Sistema de control

El sistema de control para la bomba es del tipo ON/OFF, facilitando así el procesamiento de los datos medidos por los instrumentos para dar dos puntos uno superior y uno inferior (estados verdadero y falso), la programación tanto del monitoreo como del control de los actuadores es como se muestra en la Ilustración 2: Control de accionamiento de la bomba. Con el control de las funciones de tiempo que podemos realizar en nuestra DAQ (tarjeta de adquisición de datos) podemos establecer el control on-off del actuador mencionado y mediante la interfaz con LabVIEW podemos establecer los tiempos de accionamiento de la bomba según los requerimientos del sistema hidropónico. El tiempo óptimo luego de un análisis de aplicaciones similares y observaciones in situ se define que la bomba deba encenderse durante 40 segundos cada 5 minutos en un ciclo repetitivo.

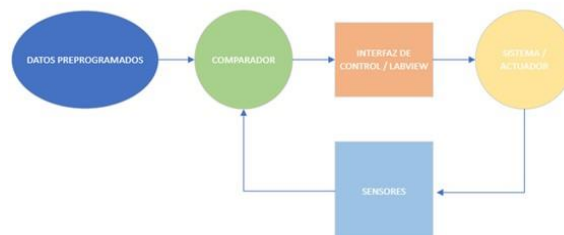
## Resultados

El control del sistema hidropónico NFT estará conformado por un sensor de pH, temperatura, conductividad eléctrica y un flujómetro, y por una bomba. Para determinar la cantidad de sales disueltas en el agua por medio del sensor analógico TDS (Total Dissolved Solids / Sólidos Disueltos Totales), se puede medir la conductividad eléctrica, siendo un dato muy importante para alcanzar la cantidad de los nutrientes necesarios (la sonda debe estar entre 1200 a 2200 mS/cm). El sensor TDS esta adaptada para funcionar con los sistemas embebidos en este caso un Arduino UNO, para leer y cuantificar el valor de conductividad en la solución en el tanque del sistema hidropónico. El proceso de calibración se muestra en la siguiente figura.

**Figura 3.** Sensor TDS



**Figura 4.** Diagrama de bloques del monitoreo y control





Se realiza una calibración del sensor pH para tener valores adecuados para la determinación de la alcalinidad de la solución, mediante un medidor patrón. Se obtiene una ecuación de calibración aplicando mínimos cuadrados Ec (1).

$$\text{pH} = -5.7x + 21.338 \quad (1)$$
 Una vez los sensores fueron calibrados, se procede a la toma de datos, tomando en cuenta las condiciones iniciales de temperatura de 24.6°C con un pH de 6.13 en una solución de 1852 ms/cm. Posterior se procede a comparar y relacionar los datos con los tomados por el sistema de adquisición de datos y los datos obtenidos de los patrones de medición. En la siguiente tabla se presentan los resultados:

#### A. Análisis de Varianza

El análisis de varianza se utiliza para la comparación y validación de los sistemas de medición, tanto automático como con instrumentos portátiles y posteriormente determinar la efectividad del mismo para su uso a futuro. Los instrumentos portátiles o patrón son usados para comparar con los medidos por el sistema de adquisición de datos DAQ, midiendo con los sensores el pH patrón y DAQ, la conductividad eléctrica (TDS) patrón y DAQ, y la temperatura patrón y DAQ. Las mediciones se realizaron por tres días como una medida de validación del sistema tal como se muestran en la tabla III.

**Tabla III.** RECOLECCIÓN DE DATOS EN MODO MANUAL Y AUTOMÁTICO [8]

HORA	PH patrón	PH daq	TDS patrón	TDS daq	TDS daq	Temp daq
16:00	6.24	6.21	1756	2049.17	23.6	23.10
16:15	6.26	6.36	1852	1608.01	23.6	23.10
16:30	6.29	6.35	1756	1427.52	23.6	22.85
16:45	6.29	6.36	1852	1424.77	23.6	22.60
17:00	6.31	6.32	1756	1431.36	23.6	22.86
17:15	6.33	6.33	1852	1428.64	23.6	22.30
17:30	6.31	6.32	1852	1421.98	23.6	22.35
17:45	6.35	6.40	1852	2084.94	23.6	22.60
18:00	6.35	6.44	1852	2086.52	23.6	22.35
Promedio	6.30	6.34	1820	1662.21	23.6	22.68

Existen varios procedimientos para re- alizar comparaciones múltiples entre medida, siendo al método de Tukey uno de los más usados en investigaciones agrícolas. El método puede ajustar a los datos a un nivel de confianza de por lo menos el 5%, por ser el más conservador con respecto a otros métodos [9]. Al buscar mayor certeza de las apreciaciones en las comparaciones de los resultados, se recurre al método de Tukey que ofrece mayor confiabilidad en las pruebas de intervalos de confianza simultáneos para de esta manera comprobar la existencia de diferencias que sean significativas entre las distintas distancias que se observen en los gráficos existentes [10].

La prueba de Tukey al 5% para pH y C.E. (conductividad eléctrica) medido cada 15 minutos durante dos horas en tres días diferentes, presentó un solo grupo estadístico “A”, el valor más bajo con 6.24 y 1872,91mS/cm respectivamente, tal como se muestra en la figura 5 y figura 6. Los valores pertenecen a la medición de la tarjeta de adquisición de datos, a su vez el valor más alto es de la medición con instrumentos portátiles. Se puede interpretar que al no existir diferencias significativas entre los dos métodos, los resultados obtenidos estadísticamente son iguales, por lo que se puede usar sin duda cualquiera de los métodos. El análisis de varianza para la temperatura se realizó con datos tomados cada 15 minutos durante dos horas durante un período de tres días, a continuación se presentan los resultados La prueba de Tukey al 5% para Temperatura mostró un solo grupo estadístico “A”, el valor más bajo con 24,89°C correspondió a la medición con la tarjeta de adquisición de datos, mientras que el valor más alto de las mediciones provienen de los instrumentos portátiles tal como se indica en la figura 7.

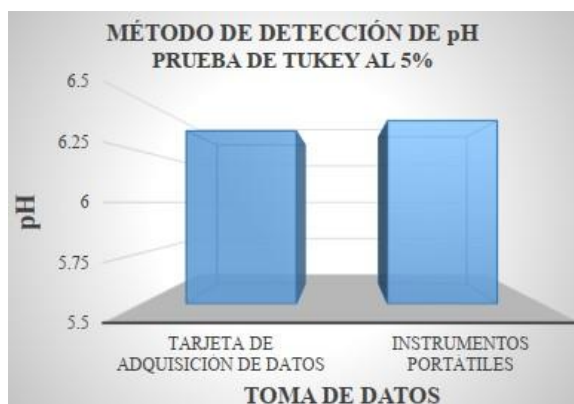


Figura 5. Prueba Tukey para pH.

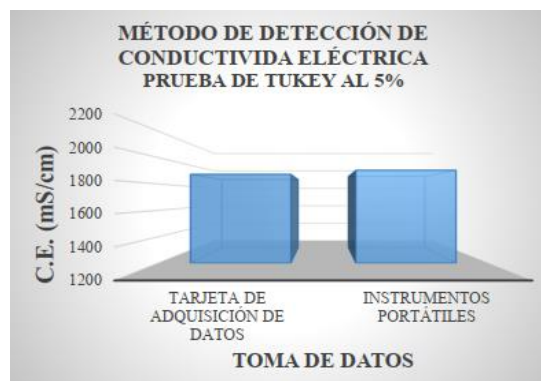


Figura 6. Prueba Tukey de Conductividad Eléctrica.

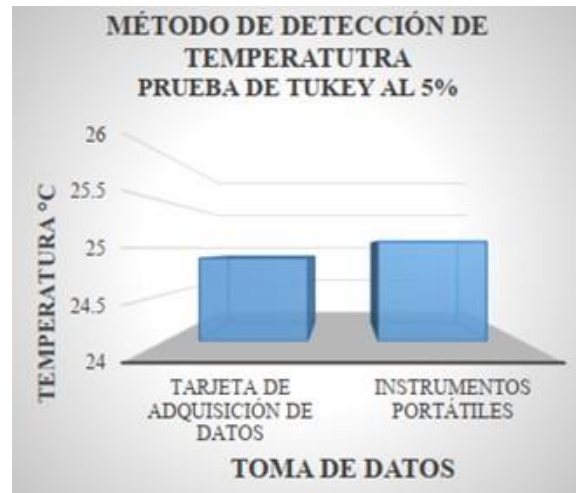


Figura 7. Prueba Tukey de temperatura.

## Conclusiones

El estudio dio a conocer la importancia de tener sensores para obtener los valores de manera más precisa para controlar el sistema NFT, su selección debe considerar las condiciones externas del cultivo así como la precisión buscada para la medición. El monitoreo por medio de la adquisición de datos y recolección de los datos con la interfaz de LabVIEW se pudo apreciar que la temperatura oscila entre 22°C a 25°C, en el departamento de horticultura de la institución. La comparación de los métodos de medición dio a conocer que tanto los instrumentos portátiles y por medio de sensores con la tarjeta de adquisición de datos tienen diferencias no tan significativas por lo que se puede trabajar con la DAQ y almacenar la información en la PC del proyecto. Los resultados de la absorción de los nutrientes en un sistema hidropónico se tiene mayor control y por medio de modelos matemáticos de puede calcular los porcentajes adecuados para optimizar la absorción.

## Referencias

1. O. Núñez and J. Guerrero, "Forrajes hidropónicos: una alternativa para la alimentación de animales domésticos Hydroponic foods: an alternative for the feeding of domestic animals Introducción," Selva Andin. Anim. Sci., vol. 1, pp. 44–52, 2021.
2. F. S. Del Castillo, E. Del Carmen Moreno Pérez, E. C. Magaña, and J.
3. M. Gómez, "Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su
4. efecto en la ganancia de peso en borregos," Rev. Chapingo, Ser. Hortic.,

5. vol. 19, no. 4 SPEC., pp. 35–43, 2013, doi: 10.5154/r.rchsh.2012.02.020
6. F. Carmona, F. Fabián, P. Pérez, C. Eva, H. Pizarro, and M. Adrián, “Respuesta productiva de conejos alimentados con forraje verde hidropónico de avena , como reemplazo parcial de concentrado comercial,” *Acta Agronómica*, vol. 60, no. 2, pp. 183–189, 2011.
7. D. A. Figueroa Arias and C. A. Arévalo Arias, “Diseño, construcción y automatización de un dispositivo cerrado para cultivos orgánicos en el hogar,” Universidad Piloto de Colombia, 2018.
8. C. Hernández and L. Días, “Automatización De Cultivos Hidroponicos,” Universidad De Los Andes, 2003.
9. M. Buendía, A. Cedillo, and G. Vega, “Diseño de un invernadero automatizado con cultivo hidroponico vertical de lechugas en el Rosario, Cuautitlán,” Instituto Politécnica Nacional. México, 2012.
10. D. Domingues, H. Takahashi, C. Camara, and S. Nixdorf, “Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production,” *Comput. Electron. Agric.*,  
11. 2020.
12. E. Freire and M. Pujos, “Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para el control de nutrientes, pH, c.e., temperatura y flujo de agua, en hidroponía mediante el uso de sistemas embebidos, ubicado en el departamento de horticultura, de la facultad de recursos naturales,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2020.
13. J. A. García-Villalpando, A. Castillo-Morales, M. E. Ramírez-Guzmán, G. Rendón-Sánchez, and Larqué-Saavedra, “99-34 (Comparación de los procedimientos de...),” p. 8, 2001.
  - I. Artomóva, S. Fernandez, and J. Mosquera, ““Análisis del Rendimiento de los Estudiantes Aplicando Diseño de Experimentos: Caso Particular’. Red de revistas científicas de América Latina,” "Análisis del Rend. los Estud. Apl. Diseño Exp. Caso Part. Red Rev. científicas América Lat., 2020.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).