

# Automated monitoring system and control for cultivations hydroponics

## Sistema automatizado de monitorización y control para cultivos hidropónicos

Joel Alejandro Serrano Ramos<sup>\*1</sup>, Raúl Teodoro Aquino Santos<sup>1</sup>, Rafael Julio Macedo Barragán<sup>2</sup>, Omar Alvarez Cárdenas<sup>1</sup>, and Margarita Glenda Mayoral Baldivia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Colima, Facultad de Telemática, Maestría en Tecnologías de Internet, Avenida Universidad No. 333, Col. Las Víboras, Colima, Col., México, 28040.

{jserrano4,aquino, xe1aom, mglenda}@ucol.mx

<sup>2</sup> Universidad de Colima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Km. 40. Autopista Colima-Manzanillo, Tecomán, Col, México, 28100.

macedo@ucol.mx

### Abstract

In hydroponics, the soil is not needed to support production, and instead, nutritious substrates or aqueous solutions are used to support plant development. Recently, hydroponic crop automation has been initiated by developing hardware and software that allows the monitoring and control of crops and storing data obtained from sensor readings using the Internet of Things (IoT). This allows some cultural practices, such as plant fertilization, to be carried out just at the right time. This research project proposes a prototype of hydroponic culture NFT (Nutrient Film Technique), which will be automated and monitored to collect information from the water with the mixed nutrient solution, which will be carried out an analysis of variables such as temperature, EC, pH; depending on the plant to be cultivated, given that each plant deals with different variables for its satisfactory growth. The prototype was made with sensors of the brand DFRobot. The programming of the sensors and the board was obtained from examples on the same page of the sensors using the Arduino IDE based on C++ . This research shows us an alternative to global famine and IoT overpopulation.

**Keywords**— Monitoring, hydroponic cultivation, technology, nutrients, system.

### Resumen

En hidroponía, el suelo no es necesario para realizar la producción y en su lugar se utilizan sustratos o soluciones acuosas nutritivas, como soporte para el desarrollo de las plantas. Recientemente, se ha iniciado la automatización de los cultivos hidropónicos mediante el desarrollo de hardware y software que permite el monitoreo y control de los cultivos, así como el almacenamiento de datos obtenidos de la lectura de los sensores utilizando el internet de las cosas (IoT). Esto permite que algunas prácticas comunes como es, la fertilización de las plantas pueda realizarse justo en el momento adecuado. Este trabajo de investigación propone un prototipo de cultivo hidropónico NFT (Nutrient Film Technique), el que será automatizado y monitorizado para recolectar información del agua con la solución nutritiva mezclada, el cual realizará un análisis de las variables como la temperatura, Conductividad eléctrica (CE), pH. Dado que cada planta ocupa diferentes nutrientes para su crecimiento. El prototipo se realizó con sensores de la marca DFRobot. La programación de los sensores y de la placa fueron realizados con ejemplos de la misma página de los sensores utilizando el IDE de Arduino que está basado en C++ . Este proyecto de investigación nos muestra una alternativa a la soberanía alimentaria y la sobrepoblación con IoT.

**Palabras clave**— Monitoreo, cultivo hidropónico, tecnología,

\* Autor de correspondencia

nutrientes, sistema.

## I. Introducción

En los últimos años ha crecido la preocupación por el aumento en la demanda de agua para fines agrícolas por lo que la conservación y reutilización del agua se han convertido en una prioridad. Junto con esto, se busca aumentar la eficiencia en la producción a través del uso de la tecnología y de las buenas prácticas lo que ha llevado a desarrollar nuevas estrategias de producción entre las que se encuentra la hidroponía [1].

En la hidroponía el suelo no es necesario para sustentar la producción y en su lugar se utilizan sustratos o soluciones acuosas nutritivas como soporte para el desarrollo de las plantas [2]. Algunas de las ventajas del establecimiento de esta técnica son: eliminación de malezas, reducción de problemas radiculares (plagas y enfermedades), reducción del uso de plaguicida, ahorro en agua y fertilizantes, producción en espacios reducidos, mayor higiene del producto cosechado y mayor sustentabilidad [3]. Esta técnica permite además obtener un mayor rendimiento y productos de mejor calidad en periodos de cosecha más cortos en comparación con la siembra tradicional a los obtenidos en campo abierto y sin la incertidumbre por condiciones ambientales adversas [4].

Uno de los elementos clave para lograr una producción eficiente en los sistemas hidropónicos, lo representa el control del volumen de la solución nutritiva aplicada al cultivo, lo cual generalmente se realiza a tiempo fijo una vez determinadas las necesidades nutricionales de la planta a cultivar en cada una de sus etapas fenológicas [2, 5].

Recientemente, se ha iniciado la automatización de los cultivos hidropónicos mediante el desarrollo de hardware y software que permite el monitoreo y control de los cultivos, así como el almacenamiento de datos obtenidos de la lectura de sensores utilizando el internet de las cosas [6, 7]. Esto permite que algunas prácticas culturales como es la fertilización de las plantas puedan realizarse justo en el momento en que de acuerdo con los datos obtenidos mediante el monitoreo el cultivo lo requiera, sustituyendo las aplicaciones de nutrientes establecidas a tiempos preestablecidos con lo que se incrementa la eficiencia del sistema de producción.

Bajo este contexto el objetivo del presente proyecto fue desarrollar un sistema de monitoreo del comportamiento de un cultivo hidropónico mediante sensores específicos

En el presente artículo se hablará sobre la implementación de un sistema automatizado de monitorización y control para cultivos hidropónicos, con el propósito de conocer el estado del agua con la solución nutritiva fusionada, con la finalidad de conocer las variables a tomar que son: CE (Conductividad Eléctrica), pH, temperatura

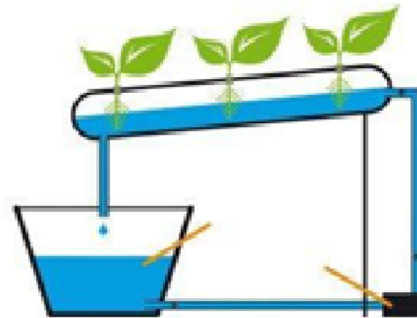


Figura 1: Sistema NFT

del ambiente y temperatura del agua mediante estos parámetros se busca generar una cosecha satisfactoria. La estructura de este documento se organiza de la siguiente manera sección I Introducción, en la sección II, se mostrará el sistema de monitoreo, los materiales utilizados y el tipo de cultivo utilizado en este cultivo. En la sección III, se mencionan las variables obtenidas y el análisis. Para terminar en las secciones IV y V, se detallarán las conclusiones y trabajo a futuro.

## II. Sistema de monitoreo

Cultivo Hidropónico, Hardware y Software

### II.1. Cultivo hidropónico

Después de revisar los diferentes tipos de cultivos hidropónicos, se decidió que el más adecuado para el proyecto de intervención, es el cultivo NFT que se muestra en la Fig. 1.

Sistema cerrado que recircula la solución nutritiva, el cual aprovecha el recurso hídrico y favorece la absorción de los sistemas radiculares de las plantas [6].

Para el desarrollo de este cultivo se requieren algunos elementos y herramientas, tales como:

- Motor Sumergible de 230 GPH o 400 GPH, el cual se encargará de enviar el agua del recipiente al cultivo hidropónico es capaz de impulsar el agua hasta 1.5 metros (Fig. 2).
- Bomba de aire para cultivo hidropónico, esta bomba sirve para oxigenar el agua del recipiente que será enviado al cultivo hidropónico (Fig. 3).
- Contenedor de 50 Lt. en este contenedor se tendrá el agua que será enviada al cultivo hidropónico (Fig. 4).
- Tubo de PVC es donde se pondrá el injerto de lechugas para el crecimiento (Fig. 5).

Encargado de enviar el agua con la solución nutritiva al cultivo hidropónico.



Figura 2: Motor Sumergible de 230 GPH o 400 GPH



Figura 3: Bomba de Aire para cultivo hidropónico

Se encuentra dentro del contenedor mencionado más adelante y será capaz de oxigenar el agua cada cierto tiempo.

Donde se guardará y se medirán las variables del agua que serán utilizadas en el cultivo hidropónico.

### Prototipo del cultivo hidropónico NFT

De acuerdo con el INAFED [8] la temperatura media de la zona norte del estado de Colima se ubica entre los 22° y los 24°C. Los requerimientos para el cultivo hidropónico de la lechuga son un rango de pH de entre



Figura 4: Contenedor de 50 Lt



Figura 5: Tubo de PVC de 4 pulgadas para cultivo hidropónico



Figura 6: Recipiente de Agua con difusor de Oxígeno

5.5 y 6.0, una conductividad eléctrica (CE) de 1.5 dS/m y una temperatura de la solución de entre 16° y 22°C [9, 10, 11].

Con todo el material mencionado anteriormente se realizó el siguiente prototipo de cultivo hidropónico:

En la Fig. 6 se muestra el contenedor donde se guarda la solución nutritiva, la manguera verde envía la solución nutritiva al cultivo hidropónico y la manguera blanca la regresa al recipiente. También, se puede mostrar el motor del difusor de oxígeno.

Prototipo de cultivo hidropónico NFT, basado en el prototipo mencionado anteriormente.

En la Fig. 7 se observa que el motor envía la solución nutritiva al cultivo hidropónico, y el difusor de oxígeno, donde se estará suministrando la solución nutritiva.



Figura 7: Recipiente con Motor sumergible y parte del oxigenador

## II.2. Hardware

Se creó una estación de monitoreo, en la cual se recolecta la información necesaria para el crecimiento de la planta en el cultivo hidropónico.

La placa que se utiliza tiene un módulo WiFi con ESP32 de la compañía Adafruit, en donde a través de los pines, la placa recolecta información de los sensores y envía los datos mediante la red WiFi.

Los sensores que se utilizaron son de tipo laboratorio:

- Sensor de pH
- Sensor de CE (Conductividad Eléctrica)
- Sensor de Temperatura

La estación de monitoreo está integrada con los 3 sensores, la cual estará monitoreando un contenedor de 50 Lt. de agua como se muestra en la Fig. 7. El procedimiento que realiza el sistema para la toma de muestra, almacenamiento y envío de información es el siguiente:

1. Al tener el sensor tanto de pH, CE y temperatura. Está conectado al Arduino ESP32 y obtiene los datos mediante el puerto a0 y a1 para los sensores de pH y CE eléctrica, y para el sensor de Temperatura se recolecta mediante el puerto digital.
2. Ya obtenidos los datos, el Arduino los procesará y enviará por la red local conectada al mismo, mediante el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport). El cual se envía a una página con un bróker de MQTT gratuito, la cual es la siguiente: <https://ioticos.org/mqtt/login>.
3. En cuanto recibe los datos de la página, los 2 scripts creados en Python recuperarán sus datos y se enviarán a la base de datos de MongoDB.

## II.3. Software

Para la utilización del software, un sistema embebido fue programado con un IDE de Arduino el cual su arquitectura está basada en el lenguaje C + +. En la misma placa se obtiene el protocolo 802.11ax (WiFi). En el cual se utilizaron librerías de Arduino para configurar la placa, a continuación, se pondrán las librerías:

1. Para el sensor de CE (conductividad eléctrica) se utilizó esta librería: DFRobot\_ESP\_CE.h
2. Para el sensor de PH se utilizó esta librería: DFRobot\_ESP\_PH.h
3. Para el sensor de Temperatura DS1820
  - a) DallasTemperature.h
  - b) OneWire.h
4. Para la programación de la placa se utilizaron las siguientes librerías:
  - a) WiFi.h
  - b) PubSubClient.h

### c) Wire.h

Cabe mencionar que los sensores de pH y CE se tienen que calibrar en la EEPROM, utilizando la siguiente librería: EEPROM.h

Las herramientas que se utilizaron de software son open Source (uso libre), las cuales se mencionan a continuación:

- Python - lenguaje de programación en el cual es interpretado y orientado a objetos.
- MongoDB - sistema de base de datos NoSQL, orientado a documentos y de código abierto.
- Arduino IDE - entorno de desarrollo en el cual se realiza la programación de cada una de las placas de Arduino, como base se tiene el lenguaje C++ orientado a objetos.
- Django - framework de desarrollo web de código abierto, escrito en Python, que respeta el patrón de diseño conocido como modelo-vista-controlador. Preferible programar con Python.
- Ióticos (<https://ioticos.org/>) página web que cuenta con un bróker de MQTT open source.
- Sublime - editor de código, el cual soporta un gran número de lenguajes de texto.

Cabe mencionar que para la visualización de las naves en el sistema hidropónico se tiene visto hacer una página web con las tecnologías mencionadas a continuación:

- Django
- Python
- CSS
- HTML
- JavaScript
- Amchart

## III. Resultados

En las Fig. 8, 9 y 10 se muestran los datos del pH, CE y temperatura obtenidos durante una semana de prueba y que permiten su monitoreo y la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo hidropónico.

### III.1. Análisis de resultados

La temperatura radicular es muy importante para la mayoría de los cultivos, ya que, si no se encuentra en su temperatura ideal, la planta detendrá su crecimiento y en algunos casos, se pueden manifestar deficiencias nutrimentales. De manera general, la temperatura de las raíces no debe bajar de  $13^{\circ}\text{C}$  ni estar sobre los  $30^{\circ}\text{C}$ . En el caso de la lechuga deberá realizarse un monitoreo para verificar que el rango de temperatura se mantenga entre los  $16$  y los  $22^{\circ}\text{C}$ .

El pH indica qué tan ácida o alcalina es una solución en una escala de cero a catorce. Un pH de 0 a 6.9 indica

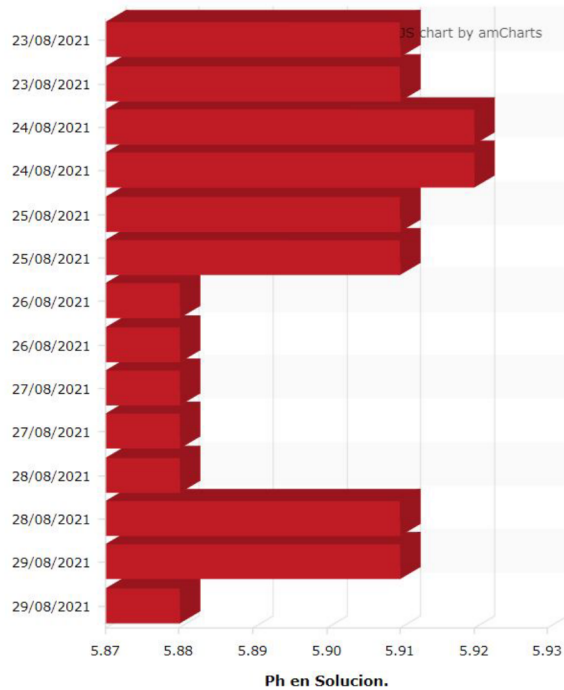


Figura 8: Valores de pH de la solución de cultivo enviados al broker



Figura 10: Valores de la temperatura de la solución de cultivo enviados al broker

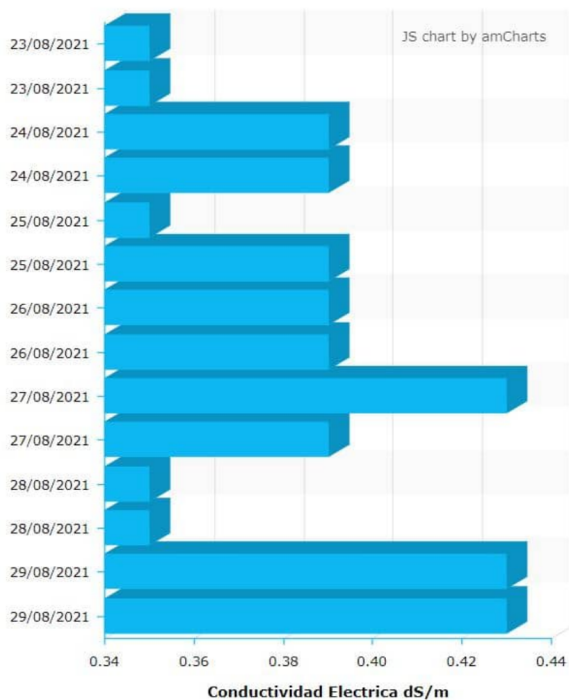


Figura 9: Valores de la CE de la solución de cultivo enviados al broker

acidez de la solución mientras que uno de 7.0 es neutro y el de 7.1 a 14 indica alcalinidad. El pH es muy importante, ya que de él depende la absorción de los nutrientes por las raíces de las plantas. Un pH muy ácido (por ejemplo, de 3.0), o muy alcalino (por ejemplo, de 10.0) limita la absorción de nutrientes, lo que provoca deficiencia de éstos, aunque estén presentes en la solución nutritiva [11]. Como ya se mencionó el pH para la lechuga debe estar dentro de un rango de entre 5.5 y 6.0. por lo que deberá mantenerse dentro de este rango mediante la dilución o concentración de la solución nutritiva.

La CE expresa la concentración total de sales solubles contenidas en el agua y variará en función de la concentración de la solución nutritiva [12]. En el caso de la lechuga, esta debe ubicarse alrededor de los 1.5 ds/m ya que en caso de que sobrepase los 3.0 ds/m el crecimiento de la lechuga se verá afectado y deberá corregirse diluyendo la solución nutritiva ya que un valor mayor indica concentración de iones [12]. En este caso nos muestra que la conductividad eléctrica obtenida con los sensores es menor, dado que se debe integrar más solución nutritiva pura.

#### IV. Conclusiones

La hidroponía es una técnica que se ha ido perfeccionando a lo largo de los años y la incorporación del IoT

(Internet of Things) mejorará su eficiencia para entre otras cosas lograr el monitoreo de los cultivos en tiempo real.

El uso de sensores permite realizar un manejo eficiente del cultivo proporcionando los nutrientes necesarios en el momento óptimo. Cabe mencionar que el obtener los datos de las variables de pH, Conductividad Eléctrica y Temperatura del Agua, nos da una mejor claridad de cómo se encuentra el agua y saber a futuro como estará la planta; el sistema automatizado también ayuda a la circulación de la solución nutritiva y el agua para poder alimentarla. Para así poder realizar un gran manejo del cultivo hidropónico.

Así podemos saber cómo se consume la solución nutritiva, cada cuando se necesita emplear la solución, y los nutrientes que le hagan falta.

## V. Trabajo a futuro

El trabajo a futuro se dividirá en varias partes, a continuación, se comentará lo que se tiene previsto:

1. Inteligencia Artificial: Ya obtenido las variables mencionadas anteriormente, se implementará inteligencia artificial para optimizar el funcionamiento del sistema hidropónico mediante redes neuronales programadas en Python. El cual detectará los niveles altos y bajos de cada una de las variables. Como método de alerta se planea enviar la información en un SMS o correo electrónico al cliente para que esté enterado de cómo se encuentra el cultivo hidropónico.
2. Prototipo de Solución Nutritiva: Dado que la solución nutritiva se está haciendo manual para las pruebas, se tiene previsto contar un recipiente externo donde se guardará la solución nutritiva pura y donde se podrá enviará la misma con un motor sumergible cada cierto tiempo que falte.

## Agradecimientos

Los Autores de este artículo agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico en parte para la adquisición de los sensores y placas en el prototipo empleado, y un agradecimiento total a los asesores que estuvieron al tanto del artículo, sus correcciones y sus comentarios.

## Referencias

- [1] Rebecca L Nelson y John S Pade. «Aquaponic food production: growing fish and vegetables for food and profit». En: (2008).

- [2] Sánchez-Del Castillo y col. «Producción hidropónica de jitomate (*Solatum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva». En: *Agrociencia* 48.2 (2014), págs. 185-197.
- [3] Ana Paula Irigo. «Estudio de viabilidad de un proyecto de producción de lechugas hidropónicas en el sudoeste de la provincia de Córdoba». Tesis doct. Universidad Católica de Córdoba, 2010.
- [4] David Ehret y col. «Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture». En: *Agronomie* 21.4 (2001), págs. 323-339.
- [5] Rodolfo de la Rosa-Rodríguez y col. «Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado». En: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17 (2016), págs. 3439-3452.
- [6] Víctor Urdiales-Ponce y Joel Espín-Ortega. «Monitoreo de un sistema hidropónico NFT a escala usando arquitectura arduino (PARTE 1)». En: *Revista Tecnología en Marcha* 31.2 (2018), págs. 147-158.
- [7] William Vladimir Catagua Vásquez José Leonardo y Kozisck Luque. En: *Desarrollo de una solución basada en internet de las cosas (IoT), a través de sensores aplicados a un sistema de hidroponía en la provincia del Guayas*. Mar. de 2021, pág. 129. URL: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52669>.
- [8] «Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México». En: INFADE. 2010. URL: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM06colima/index.html>.
- [9] Oasis. Easy Plant. En: *Manual de hidroponía. Smithers Oasis de México S.A. de C.V., S/F*. Ago. de 2020, pág. 32. URL: <https://www.oasisgrowersolutions.com/pdf/mx/manual-hidroponia.pdf>.
- [10] Juan C Gilsan. En: *HIDROPONIA*. Sep. de 2007, pág. 32. URL: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>.
- [11] Margarita Araceli Zárate Aquino. *Manual de hidroponía*. 2015.
- [12] Gilda Carrasco, Patricia Ramírez y Hermine Vogel. «Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT». En: *Idesia (Arica)* 25.2 (2007), págs. 59-62.