

HydroGrow: Sistema de Monitoreo y Control en Procesos de Cultivos Hidropónicos aplicado en especies hortícolas (Lechuga sativa).

Karla Almea, Eduardo Estévez, Elvis Gonzales, Jorge Gualpa
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ),
Quevedo, Ecuador

[kalmeav, ericksson.estevez2016, elvis.gonzales2016,
jorge.gualpa2015]@uteq.edu.ec

Resumen.

Palabras claves: Hidropónicos, Cultivos, Lechuga, ESP8266, TDDT4IoT

1 Introducción

En la actualidad, el interés por el cultivo casero ha ido en aumento. Cada vez es más frecuente observar que tanto hogares como edificios adquieren una vista más verde gracias al cultivo de flores y vegetales [1]. Esto debido a la creciente cantidad de personas que buscan mejorar su salud mediante la demanda de vegetales saludables, entre los cuales se encuentran los hidropónicos debido a los beneficios que se pueden obtener al consumirlos y a su conveniente forma de cultivo [2].

En las últimas décadas debido a sus múltiples ventajas, tales como la reducción del consumo de agua, la protección contra enfermedades del suelo y la posibilidad de optimizar el crecimiento de los cultivos en espacios limitados[3]. La historia de la hidroponía se remonta a la antigua Babilonia, donde se cree que se utilizó para crear jardines colgantes. La primera evidencia escrita del uso de la hidroponía se puede encontrar en los escritos de los antiguos romanos, quienes utilizaron la técnica para cultivar plantas en áreas con suelos pobres [4].

Entre los sistemas modernos de cultivos hidropónicos se ha encontrado literatura muy interesante y altamente relacionada con el tema de estudio de este artículo [5][6]. Sin embargo, se encontraron algunas falencias que pueden ser resueltas en el sistema que se propone en este trabajo. Por ejemplo, el uso de la información obtenida mediante los diferentes sensores para utilizarse para diseñar diferentes reglas que controlen algunos actuadores como electro-válvulas, luces y electrobombas así como la adición automática del agua al sistema.

A diferencia de estos artículos, que presentan una serie de carencias ya mencionadas, el presente trabajo pretende mejorar las funcionalidades encontradas en los sistemas revisados y hacer uso de la información de los sensores para controlar el sistema de cultivos de forma automatizada, así logrando una producción de cultivos hidropónicos más eficiente a través de la implementación de un ambiente controlado centrándose en los nutrientes del agua circulante. Esto a su vez permitirá optimizar la calidad de los cultivos y reducir los costos e impactos ambientales asociados con los métodos de cultivo tradicionales.

Además, se llevaron a cabo pruebas para evaluar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de cultivo hidropónico. Esto incluyó el seguimiento de la calidad y cantidad de los cultivos producidos, así como la medición de los recursos utilizados, como el agua y los nutrientes, todo esto haciendo uso de las propias herramientas de software que se desarrollaran, lo que permitirá evaluar también la eficiencia de estas. Finalmente, se analizarán los costos y beneficios del sistema de cultivo hidropónico en comparación con otros métodos de cultivo, con el objetivo de

determinar su viabilidad económica y su impacto en el medio ambiente.

1.1 Antecedentes

La agricultura ha sido siempre una actividad esencial en la economía de numerosos países de todo el mundo [7]. Sin embargo, en la actualidad, la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) está siendo utilizada para mejorar la eficiencia de los procesos agrícolas. Esta tendencia ha tenido un impacto significativo en el desarrollo de las ciudades y en los hábitos de vida de sus habitantes, ya que ha provocado un desplazamiento de las tierras de cultivo a zonas más alejadas del área urbana. A pesar de esto, la demanda de alimentos sigue creciendo con el aumento de la población. Por esta razón, se propone en la siguiente investigación sobre el método de cultivo hidropónico como una alternativa innovadora y sostenible para producir alimentos de alta calidad de manera eficiente [8].

En las últimas décadas, la hidroponía ha ganado popularidad debido a su capacidad para producir cultivos de alta calidad en un ambiente controlado. La tecnología ofrece varias ventajas sobre los métodos agrícolas tradicionales, como el uso eficiente del agua y los nutrientes, los costos de producción reducidos y la capacidad de cultivar plantas en áreas donde el suelo es pobre o inutilizable [9]. Sin embargo, la hidroponía todavía enfrenta muchos desafíos, como el manejo integrado de plagas, la calidad del agua y los nutrientes, el control de las condiciones ambientales y la selección de cultivos adecuados. Con el fin de abordar estos problemas, se han llevado a cabo varios estudios para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la hidroponía [10].

Se han desarrollado varios trabajos al respecto, algunos permiten analizar y monitorear los datos [11][7][12][13], otros que utilizan inteligencia artificial [14][15][16][17][18][19][20], así mismo, otros ayudan a tomar decisiones [21].

1.2 Pregunta de investigación y objetivos

La pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Cuáles son las características de los sistemas hidropónicos que se han desarrollado hasta el momento? Esta pregunta surge a partir de la necesidad de conocer el estado actual en cuanto a características de los sistemas hidropónicos existentes.

Para abordar esta pregunta de investigación, se plantean objetivos que serán descritos en la siguiente sección

1.2.1 Objetivo General

- Desarrollar un sistema de cultivo hidropónico eficiente y sostenible para la producción de cultivos hortícolas en un ambiente controlado para la optimización de la calidad de los cultivos y la reducción de costos e impactos ambientales asociados con los métodos de cultivos tradicionales.

1.2.2 Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de cultivo hidropónico adecuado para las especies seleccionadas.
- Realizar pruebas para la determinación de la eficiencia y la sostenibilidad del sistema de cultivo hidropónico.
- Analizar los costos y beneficios del sistema de cultivo hidropónico en comparación

con otros métodos de cultivo.

Después de establecer la pregunta de investigación y los objetivos de la investigación, es importante realizar una revisión exhaustiva del estado del arte en el tema de cultivos hidropónicos, se explicará la revisión que se llevó a cabo en la siguiente sección.

(Un último párrafo de la organización del documento será redactado más adelante)

2 Estado del Arte

Para obtener un punto de partida se realizó una búsqueda en bases de datos bibliográficas, páginas webs confiables y editoriales académicas como IEEE Xplore, MDPI y Springer. Se utilizó dos cadenas de búsqueda

- “Hydroponic control system based on Arduino”
- “Hydroponic system and IoT”

Al utilizar estas cadenas de búsqueda se consiguió información sobre Sistemas hidropónicos aplicando Internet de las cosas (IoT). La elaboración de esta investigación tiene como objetivo responder a la pregunta de investigación, ¿Cuáles son las características de los sistemas hidropónicos que se han desarrollado hasta el momento? Para ello se realizó la búsqueda antes mencionada. A continuación, se presentan los hallazgos encontrados en cada una de las investigaciones.

En el campo de los sistemas distribuidos para cultivos hidropónicos, existen varios proyectos que están enfocados a la automatización y optimización de los procesos que se llevan a cabo. Para lograr tal objetivo se puede disponer de una gama alta de tecnologías, dentro de las cuales se encontró como tecnología predominante el uso de placas Arduino en todos los trabajos. Se descubrió el uso de algunas variaciones de esta placa como las siguientes: Arduino Mega, Arduino Uno y Arduino Mega 2560. También se observó el uso de módulos o microcontroladores como ESP8266, ESP32 y un módulo Wi-Fi junto a las placas de Arduino en tres proyectos [22], [23], [24].

Además, se analizó la frecuencia de uso de diferentes tipos de sensores en estos sistemas, encontrando así que los sensores con mayor a menor frecuencia son los siguientes: pH, temperatura, conductividad eléctrica, nivel de agua, ultrasonido, humedad y proximidad. Cabe recalcar que los sensores de conductividad eléctrica, nivel de agua y ultrasonido tienen la misma frecuencia de uso.

Es importante destacar que todos los proyectos crearon y utilizaron un dispositivo de cultivo hidropónico para la obtención de resultados, los cuales fueron diferentes en cada proyecto, sin embargo, se encuentran ciertas similitudes en los trabajos de Nuez[25], Chowdhury[26], Sihombing[27], Ardiansyah[22] y Cabrera[24] en cuanto a la visualización de datos como pH, humedad del aire, temperatura del agua y aire.

Las funcionalidades que diferencian al artículo de Nuez[25] es conectar y desconectar con el sistema hidropónico y el control de la bomba y luz. Por otra parte, se encontró que el artículo de Khudoyberdiev[23] no presenta tales funcionalidades en común, pero realiza el control de agua y humedad.

Se pudo observar que en los artículos de los autores Nuez[25] y Chowdhury[26] conectan su sistema a Thingspeak (un servicio web que proporciona almacenamiento y análisis de datos). En el caso de Nuez[25] utiliza un módulo ESP8266 y se conecta al servicio. Por otro lado, se encontró que en la investigación de Chowdhury[26] detecta la conductividad y el flujo de agua, recepta alertas por mensajes de texto, controla el pH, temperatura, nivel de agua, conductividad y humedad. Esta última característica también se puede encontrar en el trabajo del Sihombing[27], en donde se incluye la visualización de nivel de proximidad y nivel de agua.

El trabajo de Khudoyberdiev[23] además de presentar las características anteriormente mencionadas en la investigación de Chowdhury[26] también realiza el control del agua, temperatura, humedad y pH.

La aplicación utilizada en el trabajo de Cabrera[24] consiste en una aplicación web y un servicio autónomo que comunica el Bot de Telegram con la cámara, permitiendo a los usuarios (agricultores) tomar fotos y conocer el crecimiento de las hortalizas cuando lo deseen. Además, cuenta con una página web en la que se indica que se utilizó PHP para su desarrollo. En dicha página se muestra un gráfico estadístico en donde se indica la evolución de la temperatura.

En los trabajos de Crisnapati[28], Park[19] y Tatas[29] al igual que Cabrera[24] se pudo notar que tienen un enfoque web. En el caso de Crisnapati[28] obtuvo una aplicación web en donde presenta la temperatura del agua, gráfica estadística del nivel de nutrientes en el agua, conductividad eléctrica, temperatura y humedad del ambiente. Además, presenta funcionalidades como asignar el nivel de pH en el agua, encendido y apagado de los dispositivos (bomba y luz artificial).

Mientras que Park[19] optó por una página web no variando en cuanto al contenido, mostrando igualmente datos como temperatura del agua, luz, luz ultravioleta, pH, humedad y visualización de cultivos a tiempo real haciendo uso de inteligencia artificial para monitorear el crecimiento de las fresas. De igual forma, se pudo notar la misma tendencia en el trabajo de Tatas [29] en el cual muestran algunos de los datos ya mencionados y en el trabajo de Tagle [30] en donde presentan mediante una gráfica en su investigación los datos mencionados anteriormente agregando la temperatura del aire y nivel del agua, todo esto haciendo uso de un dispositivo de cultivo hidropónico que también forma parte de sus resultados obtenidos.

Durante la revisión de la literatura, se ha notado que la mayoría de los trabajos se enfocan en cultivos hidropónicos en espacios grandes, con el objetivo de comprobar el nivel del agua y proporcionar información precisa y actualizada. Sin embargo, estos sistemas no son aplicables en espacios reducidos, lo que ha llevado a la necesidad de desarrollar un sistema más adecuado y adaptable para estos casos. Para ello, se presenta HydroGrow, un sistema de cultivo hidropónico que resuelve las desventajas encontradas en los trabajos revisados.

Por otro lado, se encontró múltiples funcionalidades importantes que también serán implementadas y mejoradas en este trabajo. En particular, se ha decidido utilizar el módulo ESP8266, relé KY-019 5V y módulo reductor de voltaje LM2596 3A, basados en la implementación realizada en el trabajo Ardhiansyah [22]. En cuanto a los sensores, se utilizarán el sensor de luz, pH y temperatura, mientras que para la bomba de agua se ha seleccionado uno adecuado para el sistema.

Se pudo notar que los sensores son una parte fundamental en este tipo de proyectos; no obstante, la metodología empleada en su uso también es de gran importancia y no puede ser pasada por alto. Sin embargo, la mayoría de los trabajos no presentan una metodología en específico, a excepción del trabajo de Ardhiansyah y Prasetya [22], en donde se indica que usa una metodología experimental. En esta metodología, se llevaron a cabo varios métodos, incluida la preparación de herramientas y equipos, luego la fase de diseño de la herramienta. Si la fase de diseño se lleva a cabo con éxito, se continúa con la etapa de prueba. Luego de observar los resultados de esta investigación, se concluyó que es importante hacer uso de una metodología.

Sin embargo, es preocupante que la mayoría de los trabajos encontrados en la revisión de literatura no especifiquen una metodología clara para el desarrollo de sus proyectos. Esta falta de metodología no necesariamente puede afectar de forma negativa la calidad del producto final, pero si facilitaría el proceso de diseño [31]. En contraste, en este artículo se seguirá la metodología de desarrollo para proyectos IoT denominada TDDT4IoTS. El uso de esta metodología permitirá una implementación controlada y sistemática del proyecto, lo que asegurará la calidad del sistema automatizado de cultivo hidropónico.

Paper	Citation key	Tecnologies	Year	Methodology	Outcome	Context
This work		Sensor PH, ESP8266 module, pH sensor, Light sensor, Temperature sensor	2023	TDDT4IoT	Web and Mobile Apps, Device	Development of an efficient and sustainable hydroponic cultivation system that improves the production of horticultural crops through the creation of a controlled environment and that allows the optimization of the quality of the crops.
Arduino Controlled Smart Hydroponic Modular System	Nuez2018ArduinoSystem	12v power supply, Protoboard MEGA, Water pump, HC05 module, Conductivity sensor, Fish feede, Connector protoboard MEGA, Arduino MEGA, Temperature and humidity ambient sensor, Arduino MEGA box, Grow light, PH sensor, PH/conductivity board, Temperature sensor waterproof, ESP8266 module, Relay module	2018	Without specific methodology	The mobile application	Our project is a hydroponic cultivation, an indoor cultivation based on hydroponics, a method used to grow plants using mineral solutions instead of soil. The general structure is made of aluminum. The structure through which the water circulates consists of PVC pipes cut and glued by hand, and consists of 6 levels through which the water passes.
An optimization scheme based on fuzzy logic control for efficient energy consumption in hydroponics environment	Khudoymbardiev2020AnEnvironment	ESP8266 Wi-Fi Module, Dehumidifier Actuator, Arduino, Humidity Level Sensor, Water Level Sensor, OverFlow System Actuator, Fogging System Actuator, Water Pump Actuator, Open Aquarium Shield	2020	Fuzzy Logic Control	The mobile application	They have proposed an optimization scheme based on the fuzzy logic control module for the hydroponic system in the IoT environment. Our proposed approach can provide optimum water and humidity level according to user/farmer desired settings for effective plant productivity with efficient energy consumption.
Design, construction and testing of iot based automated indoor vertical hydroponics farming test-bed in qatar	Chowdhury2020Design,Qatar	Water Level Sensor, Water Flow Sensors, Arduino Mega, Dosing Pumps, pH sensor, EC sensor	2020	Without specific methodology	The mobile application	The aim of this work is to design and construct an indoor automatic vertical hydroponic system that does not depend on the outside climate.
Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IoT based NFT farm using web technology	Crisnapati2017Hommons:Technology	Raspberry Pi 2 Model B, Arduino Uno, Grow light, pH sensor, DS18B20 temperature sensor, water pump, Ultrasonic sensors SR04 - HC, Aerator	2017	Without specific methodology	Web App	This paper focused on management system that could monitor water temperature, water level, higher densities of nutrient solution and the acidity (pH) of a nutrient solution using sensors are related and connected to the microcontroller via a website. Hydroponic farming management system allows the user to perform control and monitor from a distance. The green energy concepts used in the Hommons . The alternative energy source is the sun which was used by utilizing solar panels to convert into Electricity.
Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android	Siombing2018AutomatedAndroid	Proximity sensor, Trasonic sensor (HC - SR04), Temperature sensor, Arduino Uno	2018	Without specific methodology	The mobile application	In related with this description, will be built the project of automated tools based on the Arduino Uno Microcontroller and the ATmega328 board as a data sheet. The Arduino Uno as the brain of the tool will monitor the hydroponics plants, assisted by proximity sensor (Ultrasonic HC - SR04) to detect the height of water. The temperature around the plants will be detected by sensors (LM 35). The height of water and the temperature room will be displayed on the LCD microcontroller. All of the data will be sent to the smartphone Android by using the WIFI (Wireless Fidelity) network.
Development of an Automated Data Acquisition System for Hydroponic Farming	Tagle2018DevelopmentFarming	Arduino Mega 2560, Ultrasonic sensor, Light sensor, LCD module, pH sensor, DHT11 sensor, Microsoft Excel, Water temperature sensor	2018	Data acquisition system	Device	This paper presents the design, construction, and calibration of the DAQ system that can log six different growing conditions – air temperature, relative humidity, water temperature, water level, pH level, and light intensity.
Design And Implementation Of An Automation System For A Nutrition Pump In Hydroponics Using Arduino Uno	Ardhiansyah2021DesignUno	Arduino Uno, DS18B20 temperature sensors, Transistor TIP 125, Humidity sensors, ESP 8266, Dosing pump, Waterfloat sensors, TDS sensors, Relay	2021	experimental methods	The mobile application	In this study, researchers developed a tool using experimental methods and data testing in the form of making a design and implementation of an automation system for a nutrition pump in hydroponics using Arduino Uno as microcontroller which can be accessed via internet.
Design and Implementation of a Hydroponic Strawberry Monitoring and Harvesting Timing Information Supporting System Based on Nano AI-Cloud and IoT-Edge	Park2021DesignIoT-Edge	TDS Sensor, Dissolved oxygen sensor, Ultraviolet sensor, Arduino Mega 2560, Water temperature sensor, Raspberry Pi 3B, Raspberry Pi Camera Module V2.1, Arducam Multi Camera Adapter Module V2.1, CO2 sensor, pH sensor, USB Smart Charger 5v 2A 5 ports, Light intensity sensor	2021	Without specific methodology	The mobile application	We designed and implemented a system that monitors the strawberry hydroponic cultivation environment and determines the harvest time of strawberries. The proposed system uses an IoT-Edge module to collect strawberry hydroponic environment data and strawberry photos.
Reliable IoT-Based Monitoring and Control of Hydroponic Systems	Tatas2022ReliableSystems	Arduino Mega 2560, RTC shield, the voltage sensor, Atlas Scientific EZO circuits, GSM shield, Xbee shield, Relay module to control the ON/OFF switching of the water pumps	2022	Without specific methodology	Web App	Intelligent, low-cost IoT-based control and monitoring system for hydroponics greenhouses. The system monitors water quality and greenhouse temperature and humidity, ensuring that crops grow under optimal conditions according to hydroponics guidelines. Remote monitoring for the greenhouse keepers is facilitated by monitoring these parameters via connecting to a website. The system is optimized for low power consumption in order to facilitate off-grid operation.
An IoT-Based System Architecture for Monitoring Hydroponic Growing in Urban Agriculture	Ibarra-Cabrera2023AnAgriculture	Raspberry Pi, Arduino, ESP32, and ESP8266, pH sensor, conductivity sensor	2023	Without specific methodology	The mobile application, Web App	This paper presents a system architecture, based on the IoT paradigm, for monitoring variables in hydroponic urban growing. Based on this architecture, a monitoring system was implemented and then evaluated through experiments performed on the roof of a house in Peru. The results show that the system prototype works properly, opening opportunities for urban agriculture in the region.

3 Descripción de la metodología propuesta TDDT4IoT

Escribir su propuesta:

3.1 Tecnología utilizada para el desarrollo open source

4 Estudio de caso

xxx

5 Resultados del Estudio de Caso

xxx

6 Discusión de resultados

xxx

7 Limitaciones

xxx

8 Conclusión y Trabajo Futuro

Xxx

Referencias

- [1] R. Gashgari, K. Alharbi, K. Mughrbil, A. Jan, y A. Glolam, “Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system”, *Proc. World Congr. Mech. Chem. Mater. Eng.*, pp. 1–7, 2018, doi: 10.11159/icmie18.131.
- [2] J. Chaiwongsai, “Automatic Control and Management System for Tropical Hydroponic Cultivation”, en *2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/ISCAS.2019.8702572.
- [3] D. Savvas y N. Gruda, “Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review”, *Eur. J. Hortic. Sci.*, vol. 83, núm. 5, pp. 280–293, 2018, doi: 10.17660/eJHS.2018/83.5.2.
- [4] H. M. Resh, *HYDROPONIC Food Production. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener*. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781439878699>
- [5] F. J. Ferrández-Pastor, J. M. García-Chamizo, M. Nieto-Hidalgo, J. Mora-Pascual, y J. Mora-Martínez, “Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture”, *Sensors*, vol. 16, núm. 7, 2016, doi: 10.3390/s16071141.
- [6] A. Amaya y L. Cruz, “Diseño e implementación de un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico”, p. 14, 2016.
- [7] M. Dutta *et al.*, “Monitoring Root and Shoot Characteristics for the Sustainable Growth of Barley Using an IoT-Enabled Hydroponic System and AquaCrop Simulator”, *Sustainability*, vol. 15, núm. 5, 2023, doi: 10.3390/su15054396.
- [8] D. Rengifo, “Impacto de la expansión urbana sobre tierras productivas y sus repercusiones en la producción agrícola”, pp. 1–79, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8621/1/T3777-MRI-Rengifo-Impacto.pdf>
- [9] I. Papadopoulos, F. Chatzitheodoridis, P. Christos, T. Vasilios, y C. Gianneli, “Evaluation of Hydroponic Production of Vegetables and Ornamental Pot-Plants in a Heated Greenhouse in Western Macedonia, Greece”, *Am. J. Agric. Biol. Sci.*, vol. 3, pp. 559–565, 2008, doi: 10.3844/ajabssp.2008.559.565.
- [10] N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, N. Singh, y O. Chaurasia, “Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview”, *J. Soil Water Conserv.*, vol. 17, pp. 364–371, 2019, doi: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
- [11] D. R. A. Tambogon y A. N. Yumang, “Growth of Garlic in Hydroponic System with IoT-Based Monitoring”, en *2022 14th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, 2022, pp. 184–189. doi: 10.1109/ICCAE55086.2022.9762436.
- [12] G. Marques, D. Aleixo, y R. Pitarma, “Enhanced Hydroponic Agriculture Environmental Monitoring: An Internet of Things Approach BT - Computational Science – ICCS 2019”, 2019, pp. 658–669.
- [13] M. J. Ibarra-Cabrera, M. A. Cruz, C. R. Quispe Onofre, y S. F. Ochoa, “An IoT-Based System Architecture for Monitoring Hydroponic Growing in Urban Agriculture”, en *Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence (UCAmI 2022)*, 2023, pp. 622–633.
- [14] C.-L. Chang, S.-C. Chung, W.-L. Fu, y C.-C. Huang, “Artificial intelligence

- approaches to predict growth, harvest day, and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a IoT-enabled greenhouse system”, *Biosyst. Eng.*, vol. 212, pp. 77–105, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.09.015>.
- [15] P. P. V, S. S. M, y S. S. C, “Robust Smart Irrigation System using Hydroponic Farming based on Data Science and IoT”, en *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*, 2020, pp. 1–4. doi: 10.1109/B-HTC50970.2020.9297842.
 - [16] M. Mehra, S. Saxena, S. Sankaranarayanan, R. J. Tom, y M. Veeramanikandan, “IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks”, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 155, pp. 473–486, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.015>.
 - [17] K. Kour *et al.*, “Monitoring Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Approach to Sensor Selection and Hydroponic Saffron Cultivation”, *Sensors*, vol. 22, núm. 22, 2022, doi: 10.3390/s22228905.
 - [18] K. Kour *et al.*, “Smart-Hydroponic-Based Framework for Saffron Cultivation: A Precision Smart Agriculture Perspective”, *Sustainability*, vol. 14, núm. 3, 2022, doi: 10.3390/su14031120.
 - [19] S. Park y J. Kim, “Design and Implementation of a Hydroponic Strawberry Monitoring and Harvesting Timing Information Supporting System Based on Nano AI-Cloud and IoT-Edge”, *Electronics*, vol. 10, núm. 12, 2021, doi: 10.3390/electronics10121400.
 - [20] H. Andrianto, Suhardi, y A. Faizal, “Development of Smart Greenhouse System for Hydroponic Agriculture”, en *2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, 2020, pp. 335–340. doi: 10.1109/ICITSI50517.2020.9264917.
 - [21] E. I. Putra, M. Cendana, y Y. Yaddarabullah, “Decision support system to determine hydroponic vegetable cultivation based on Internet of Things (IoT)”, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1098, núm. 6, p. 62007, mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1098/6/062007.
 - [22] L. Ardhiansyah y D. A. Prasetya, “Design And Implementation Of An Automation System For A Nutrition Pump In Hydroponics Using Arduino Uno”, 2021, [En línea]. Disponible en: http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/92723%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/92723/2/Lutfi_Ardhiansyah_Publication_Manuscript.pdf
 - [23] A. Khudoyberdiev, S. Ahmad, I. Ullah, y D. H. Kim, “An optimization scheme based on fuzzy logic control for efficient energy consumption in hydroponics environment”, *Energies*, vol. 13, núm. 2, 2020, doi: 10.3390/en13020289.
 - [24] M. J. Ibarra-Cabrera, M. A. Cruz, C. R. Quispe Onofre, y S. F. Ochoa, “An IoT-Based System Architecture for Monitoring Hydroponic Growing in Urban Agriculture BT - Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence (UCAmI 2022)”, 2023, pp. 622–633.
 - [25] L. Nuez, “Arduino Controlled Smart Hydroponic Modular System”, pp. 1–29, 2018, [En línea]. Disponible en: https://create.arduino.cc/projecthub/luisantoniomartinnuez/arduino-controlled-smart-hydroponic-modular-system-0d65ad?ref=platform&ref_id=424_trending___&offset=2
 - [26] M. E. H. Chowdhury *et al.*, “Design, construction and testing of iot based automated indoor vertical hydroponics farming test-bed in qatar”, *Sensors*

- (Switzerland), vol. 20, núm. 19, pp. 1–24, oct. 2020, doi: 10.3390/s20195637.
- [27] P. Sihombing, N. Karina, J. Tarigan, y M. Syarif, “Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android”, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 978, p. 12014, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/978/1/012014.
 - [28] P. N. Crisnapati, I. N. K. Wardana, I. K. A. A. Aryanto, y A. Hermawan, “Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology”, oct. 2017. doi: 10.1109/CITSM.2017.8089268.
 - [29] K. Tatas *et al.*, “Reliable IoT-Based Monitoring and Control of Hydroponic Systems”, *Technologies*, vol. 10, núm. 1, 2022, doi: 10.3390/technologies10010026.
 - [30] S. Tagle *et al.*, “Development of an Automated Data Acquisition System for Hydroponic Farming”, en *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666373.
 - [31] E. Ortégón, J. F. Pacheco, y A. Prieto, “Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas”. [En línea]. Disponible en: www.issuu.com/publicacionescepal/stacks