



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i1.3747>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores*

*Home automation control of indoor hydroponic growing tower*

*Controle de automação residencial de torre de cultivo hidropônico interno*

Jefferson Edgar Villarreal Enríquez <sup>I</sup>  
[jeffersonvillarreal@gmail.com](mailto:jeffersonvillarreal@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0001-4643-0933>

Jaime Vinicio Molina Osejos <sup>III</sup>  
[jaimemolina@gmail.com](mailto:jaimemolina@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-3310-9590>

Diana Belén Peralta Zurita <sup>II</sup>  
[dianaperalta@gmail.com](mailto:dianaperalta@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-8016-3675>

Diego Fernando Bustamante Villagómez <sup>IV</sup>  
[diegobustamante@gmail.com](mailto:diegobustamante@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-8016-3675>

**Correspondencia:** [jeffersonvillarreal@gmail.com](mailto:jeffersonvillarreal@gmail.com)

\***Recibido:** 20 de diciembre de 2023 \***Aceptado:** 12 de enero de 2024 \* **Publicado:** 26 de febrero de 2024

- I. Universidad Internacional SEK, Ecuador.
- II. Universidad Internacional SEK, Ecuador.
- III. Universidad Internacional SEK, Ecuador.
- IV. Universidad Internacional SEK, Ecuador.

## Resumen

El siguiente artículo detalla el desarrollo de un sistema de cultivo hidropónico interior controlado mediante tecnología domótica. El objetivo principal fue diseñar un prototipo que mejore el cultivo de alimentos en espacios limitados, utilizando un sistema automatizado para regular factores clave como pH y temperatura. Se seleccionaron plantas adecuadas: en este caso lechuga, fresa y albahaca, para interiores, y se creó un diseño que promueva su crecimiento óptimo. La metodología empleada fue la Metodología en V, que incluyó definición de requisitos, diseño, implementación, integración, verificación y validación del sistema. Los resultados demostraron la viabilidad del prototipo, manteniendo condiciones adecuadas para el cultivo hidropónico y presentándose como una solución práctica para la agricultura interior.

**Palabras Claves:** Hidroponía; Domótica; Sustentabilidad; Automatización; Metodología en V.

## Abstract

The following article details the development of an indoor hydroponic growing system controlled by home automation technology. The main objective was to design a prototype that improves the cultivation of food in limited spaces, using an automated system to regulate key factors such as pH and temperature. Suitable plants were selected: in this case lettuce, strawberry and basil, for indoor use, and a design was created that promotes their optimal growth. The methodology used was the V Methodology, which included definition of requirements, design, implementation, integration, verification and validation of the system. The results demonstrated the viability of the prototype, maintaining adequate conditions for hydroponic cultivation and presenting itself as a practical solution for indoor agriculture.

**Keywords:** Hydroponics; Home automation; Sustainability; Automation; V methodology.

## Resumo

O artigo a seguir detalha o desenvolvimento de um sistema de cultivo hidropônico interno controlado por tecnologia de automação residencial. O objetivo principal foi projetar um protótipo que melhorasse o cultivo de alimentos em espaços limitados, utilizando um sistema automatizado para regular fatores-chave como pH e temperatura. Foram selecionadas plantas adequadas: neste caso alface, morango e manjeriço, para uso interno, e foi criado um desenho que promove o seu

## Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

---

crecimiento ideal. A metodología utilizada foi a Metodologia V, que incluiu definição de requisitos, desenho, implementação, integração, verificação e validação do sistema. Os resultados demonstraram a viabilidade do protótipo, mantendo condições adequadas para o cultivo hidropônico e apresentando-se como uma solução prática para agricultura indoor.

**Palavras-chave:** Hidroponia; Automação residencial; Sustentabilidade; Automação; Metodologia V.

### Introducción

La hidroponía o también denominada como “agricultura sin suelo”, es un conjunto de técnicas de siembra y cultivos que sustituyen al suelo. La palabra hidroponía deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor o trabajo) que significa literalmente "trabajo en agua". Se refiere a un medio artificial constituido por una solución nutritiva que contenga los elementos esenciales que necesita la planta para su crecimiento y desarrollo (Beltrano & Giménez, 2015). En este caso, los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición (Olmos, 2023).

Es así como esta, hoy en día se ha posicionado como una alternativa revolucionaria frente a las técnicas de agricultura convencional. Algunas investigaciones en el campo destacan sus ventajas, como la reducción del consumo de agua en comparación con la agricultura tradicional y la posibilidad de controlar más eficazmente los nutrientes y condiciones ambientales (Trefitz & Omaye, 2016; Vyshnavi et al., 2023), además de reducir o incluso eliminar el uso de elementos nocivos como fungicidas y pesticidas, los cuales, a pesar de proteger a la planta, pueden ser perjudiciales para los seres humanos (Sela et al., 2023).

Los principales métodos de cultivo hidropónico pueden clasificarse en sistemas activos y pasivos; los primeros implican el uso de una bomba para suministrar nutrientes y los segundos se basan en la acción capilar del medio de cultivo (Macwan et al., 2021). Se han desarrollado diferentes tipos de sistemas hidropónicos, como los sistemas de mecha, flujo y reflujo, goteo, cultivo en aguas profundas y técnica de película de nutrientes (NFT), cada uno con su propio conjunto de ventajas y limitaciones (Rani et al., 2022; Yuvaraj et al., 2022). Además, la forma orgánica emergente de hidroponía, conocida como "bioponía", implica el uso de residuos orgánicos para producir soluciones ricas en nutrientes, con varios métodos como el tipo "té", la degradación microbiana aeróbica, la digestión

## Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

---

anaeróbica y los métodos combinados de degradación anaeróbica-aeróbica que se están explorando (Szekely & Jijakli, 2022).

Por otra parte, la tecnología domótica, que integra sistemas de automatización para el control y gestión de viviendas y edificaciones, se ha extendido también al ámbito de la agricultura (Negrete et al., 2018). Así, la implementación de sistemas domóticos en la agricultura permite un control preciso y automatizado de factores críticos como la iluminación, la temperatura y la humedad, optimizando así el crecimiento de las plantas y maximizando la eficiencia en el uso de recursos (Colizzi et al., 2020; Cosman et al., 2019).

Existen una serie de variables críticas para el cultivo hidropónico y su monitoreo mediante sensores y actuadores domóticos. La temperatura, esencial para el crecimiento de las plantas, y depende del propósito del mismo, pero suele variar entre 22°C y 31°C y es medida con sensores de temperatura (Noh & Jeong, 2021). El pH, que determina la acidez o alcalinidad del medio, idealmente se mantiene neutro y se monitorea con sensores químicos (Hosseini et al., 2021). La humedad, tanto ambiental como del sustrato, es crucial y se mide mediante sensores de humedad (Culebro et al., 2016). Los sensores se clasifican según su funcionamiento (analógicos o digitales), la naturaleza de su operación (temperatura, humedad, presión, químicos) y los materiales de fabricación (resistivos, semiconductores). Los actuadores en el sistema, clasificados en neumáticos, hidráulicos y eléctricos, realizan tareas específicas como control de flujo de agua, iluminación y ventilación, esenciales para mantener un ambiente óptimo de cultivo (Abu Sneineh & Shabaneh, 2023; Gómez, 2022).

El impacto potencial de este sistema va más allá de la mera producción de alimentos; tiene el poder de transformar la forma en que se abordan los desafíos de la urbanización y la sostenibilidad en la agricultura. Al combinar la eficiencia de la hidroponía con la precisión de la tecnología domótica, este proyecto abre nuevas vías para la agricultura urbana, promoviendo un futuro donde la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental pueden coexistir armoniosamente.

En este marco, la investigación se centra en el diseño y desarrollo de un prototipo de sistema de cultivo hidropónico interior que integra tecnologías domóticas. Este sistema busca no solo mejorar la producción de alimentos en espacios reducidos, sino también ofrecer una solución sostenible y ecológica a los retos actuales de la agricultura urbana. A través de la regulación de las condiciones de crecimiento de las plantas, se busca promover un desarrollo adecuado, generar una mayor

## Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

---

productividad y eficiencia en la producción de alimentos, y proporcionar una fuente continua de alimentos frescos y saludables para los usuarios.

### Metodología

La metodología de este estudio sobre el sistema de cultivo hidropónico interior controlado por tecnología domótica se basó en la Metodología en V, ampliamente empleada en proyectos de ingeniería y diseño. Esta metodología estructurada incluye varias etapas clave: definición de requisitos, diseño del sistema, implementación, integración, verificación y validación; y ha sido pertinente para la creación y validación del prototipo de control domótico para torres de cultivo hidropónico, un área de investigación que se encuentra en etapas iniciales (Zumba, 2018).

En la etapa de definición de requisitos, se identificaron y documentaron los requisitos funcionales y no funcionales del sistema. Posteriormente, se diseñó el sistema en detalle y se elaboró un plan de pruebas. La implementación involucró la construcción del prototipo, incluyendo la programación de dispositivos y la integración de componentes. Luego, se realizaron pruebas de integración y verificación para asegurar el cumplimiento de los requisitos. Finalmente, la validación consistió en pruebas finales para confirmar la efectividad del prototipo desarrollado.

Para ello Diseño del sistema fue basado en tres partes:

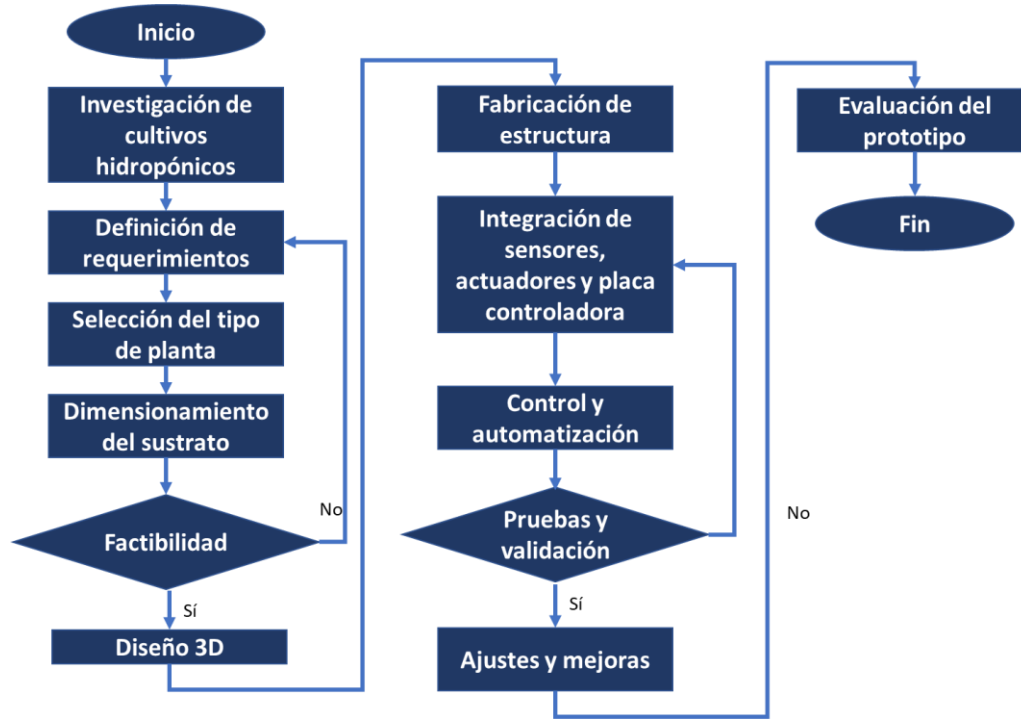
1. Diseño del sistema de cultivos hidropónicos: Se desarrolló un diseño óptimo que garantice el correcto funcionamiento y la eficiencia de los cultivos hidropónicos.
2. Domótica: Se exploraron las tecnologías y sistemas domóticos más adecuados para el control y monitoreo automatizado de la torre de cultivo hidropónico.
3. Diseños para interiores: Se estudiaron y seleccionaron los elementos de diseño interior que contribuyan a la armonía estética del entorno, considerando aspectos como la iluminación, los materiales y la disposición espacial.

Todo ello basado en el siguiente proceso:

Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

**Figura 1**

*diagrama de flujo del proceso de creación del producto*



Por su parte, se establecieron criterios específicos para la selección de plantas para el cultivo hidropónico. Se consideró la viabilidad del cultivo hidropónico, el espacio requerido, el ciclo de crecimiento, la demanda de nutrientes, y el valor comercial y uso de las plantas. Se eligieron especies adaptadas al cultivo hidropónico, con un tamaño adecuado para el espacio disponible, ciclos de crecimiento cortos, demanda equilibrada de nutrientes, y alto valor comercial. Estos criterios permitieron identificar las plantas más adecuadas para el sistema.

Con base en estos criterios se seleccionan las siguientes plantas:

**Lechuga Iceberg:** una variedad de lechuga reconocida por su forma compacta y cabezas redondeadas. Su follaje verde pálido y crujiente lo convierte en un ingrediente popular en ensaladas y platos frescos.

**Tabla 1.** *Detalles de la Lechuga Iceberg*

Lechuga iceberg	Tiempo de cosecha	de Nutrientes requeridos	Cantidad de agua requerida
-----------------	-------------------	--------------------------	----------------------------

Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

<b>Variedad</b>	<b>Great Lakes</b>	60-85 días	Nitrógeno, calcio, magnesio	fósforo, potasio,	3-4 litros por día por planta
<b>Variedad</b>	<b>Imperial</b>	70-90 días	Nitrógeno, calcio, magnesio	fósforo, potasio,	3-4 litros por día por planta
<b>Variedad</b>	<b>Salinas</b>	70-85 días	Nitrógeno, calcio, magnesio	fósforo, potasio,	3-4 litros por día por planta

Fresa camarosa: Una variedad altamente productiva y apreciada por su sabor dulce y su textura jugosa. Esta planta es un ejemplo destacado de cultivo hidropónico y demuestra los beneficios de utilizar técnicas de control domótico en su crecimiento y desarrollo.

**Tabla 2 . Detalle de la Fresa Camarosa**

<b>Fresa camarosa</b>	<b>Tiempo de cosecha</b>	<b>de Nutrientes requeridos</b>	<b>Cantidad de agua requerida</b>
<b>Variedad Camarosa</b>	60-70 días	Nitrógeno, calcio, magnesio	1-2 litros por día por planta
<b>Variedad San Andreas</b>	70-80 días	Nitrógeno, calcio, magnesio	1-2 litros por día por planta
<b>Variedad Albion</b>	80-90 días	Nitrógeno, calcio, magnesio	1-2 litros por día por planta

Albahaca Dulce: planta herbácea apreciada por su fragancia y propiedades medicinales Una planta herbácea conocida por su aroma distintivo y su uso en la cocina. Se seleccionó como un ejemplo relevante de cultivo hidropónico, destacando cómo el control domótico puede mejorar su crecimiento y optimizar las condiciones de cultivo para obtener hierbas de alta calidad.

**Tabla 3. Indicaciones del Crecimiento de la Albahaca dulce**

<b>Etapa de crecimiento</b>	<b>de Tiempo de cosecha</b>	<b>de Nutrientes requeridos</b>	<b>Cantidad de agua requerida</b>
<b>Germinación</b>	5-10 días	Nitrógeno	1-2 cm de agua cada 2 días
<b>Crecimiento</b>	4-6 semanas	Nitrógeno, fósforo	2-3 cm de agua cada 2 días

### Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

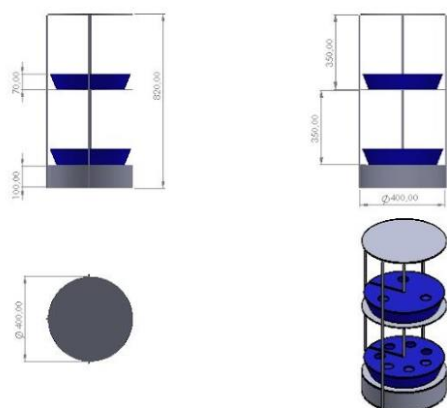
<b>Floración</b>	6-8 semanas	Fósforo, potasio	3-4 cm de agua cada 2 días
<b>Maduración</b>	8-12 semanas	Potasio	3-4 cm de agua cada 2 días

El dimensionamiento del sustrato para Albahaca Dulce, Fresa Camarosa y Lechuga Iceberg se realizó considerando porosidad y retención de agua, equilibrio de drenaje, nutrición balanceada y estabilidad estructural. Se seleccionó una mezcla de fibra de coco, perlita y vermiculita. La fibra de coco proporcionaba nutrientes y retenía agua, mientras que la perlita y la vermiculita mejoraban el drenaje y la estabilidad. Se evaluaron la factibilidad técnica, económica, de replicación y de adaptación del sistema, incluyendo análisis de componentes, costos y posibles personalizaciones.

### Resultados

A partir de ello, previo al diseño de bosquejo, se procedió a la elaboración de la estructura del sistema de cultivo hidropónico considerando todos los sistemas control definidos previamente. Se buscó optimizar su diseño a partir de una estructura eficiente y adaptable. Consta de una plancha superior, bandejas de cultivo, y un cuerpo estructural soportado por una base con ruedas para facilitar su movilidad. La estructura, de forma tubular, beneficia la circulación del aire y reduce la proliferación de hongos y bacterias.

**Figura 1.** Plano Completo de la Estructura



El diseño se constituyó a partir de una torre con dimensiones específicas: una altura de 125 cm y un diámetro de 60 cm, dividida en tres pisos para acomodar plantas de tamaños pequeños y medianos. Las bandejas de cultivo, de 10 cm de profundidad, están diseñadas para albergar la solución nutritiva y están equipadas con tapas de diferentes tamaños de agujeros para acomodar una variedad de plantas.



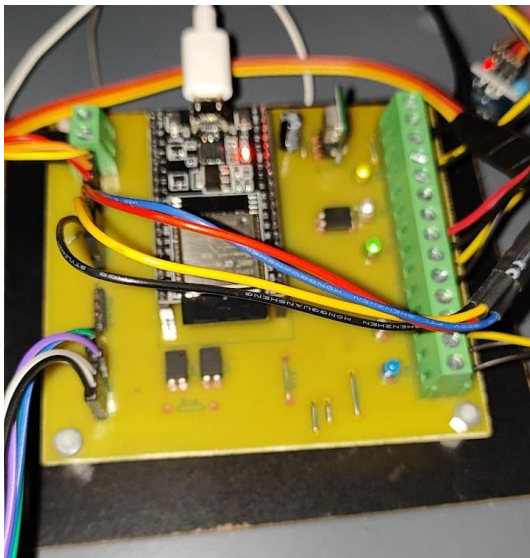
## Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

**Figura 2.** *Sistema completo y funcional*



El sistema de control para el cultivo hidropónico domótico integra tecnologías y dispositivos avanzados, incluyendo una pantalla táctil inteligente Nextion, sensores de temperatura, humedad, pH y nutrientes, y actuadores automatizados, todos coordinados mediante un controlador Arduino y tecnología de comunicación inalámbrica. Este conjunto asegura un monitoreo y ajuste preciso de las variables clave del entorno de cultivo.

**Figura 3.** *Sistema de Control Completo*



## Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

Durante 8 semanas se monitoreó la temperatura en el sistema, registrándose un rango de temperatura promedio entre 18.9°C y 25.1°C con una desviación estándar de 2.35°C, indicando una variabilidad mínima y una regulación térmica eficiente. El promedio general fue de 22.05°C, demostrando la capacidad del sistema para mantener condiciones estables, cruciales para el crecimiento saludable de las plantas.

En cuanto al pH, las mediciones durante el mismo periodo mostraron una estabilidad significativa, con la mayoría de las semanas en un rango neutro, excepto en la semana 7 donde se observó un leve descenso a un nivel ligeramente ácido. El promedio general del pH fue de 6.57, lo que indica un buen control del pH dentro del sistema, aunque requiriendo ajustes ocasionales para mantener el equilibrio ideal.

Se realizó la siembra de las plántulas al mismo tiempo para corroborar los resultados, la primera se la sembró en la tierra y para la segunda se ocupó el sistema la torre hidropónica se puede evidenciar en la siguiente tabla:

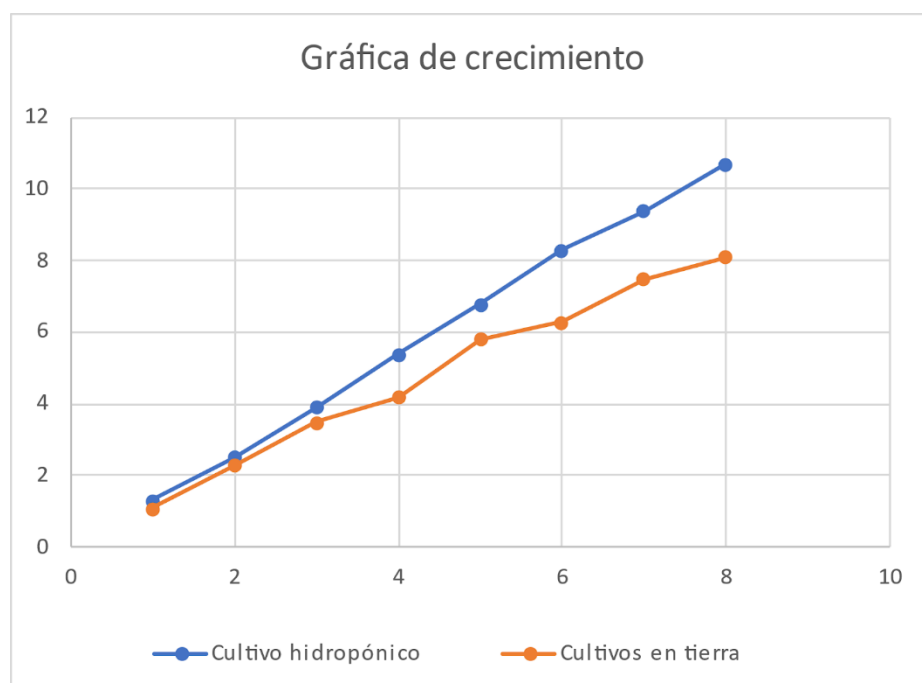
**Tabla 1.** *Comparativa del Crecimiento de las Plantas de Albahaca*

Semana	Tiempo desde la siembra	Cultivo en tierra	Cultivo hidropónico
1	7 días	1,1 cm	1,3 cm
2	14 días	2,3 cm	2,6 cm
3	21 días	3,5 cm	3,9 cm
4	28 días	4,2 cm	5,2 cm
5	35 días	5,8 cm	6,5 cm
6	42 días	6,3 cm	8,1 cm
7	49 días	7,5 cm	9,4 cm
8	56 días	8,1 cm	10,7 cm

### Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

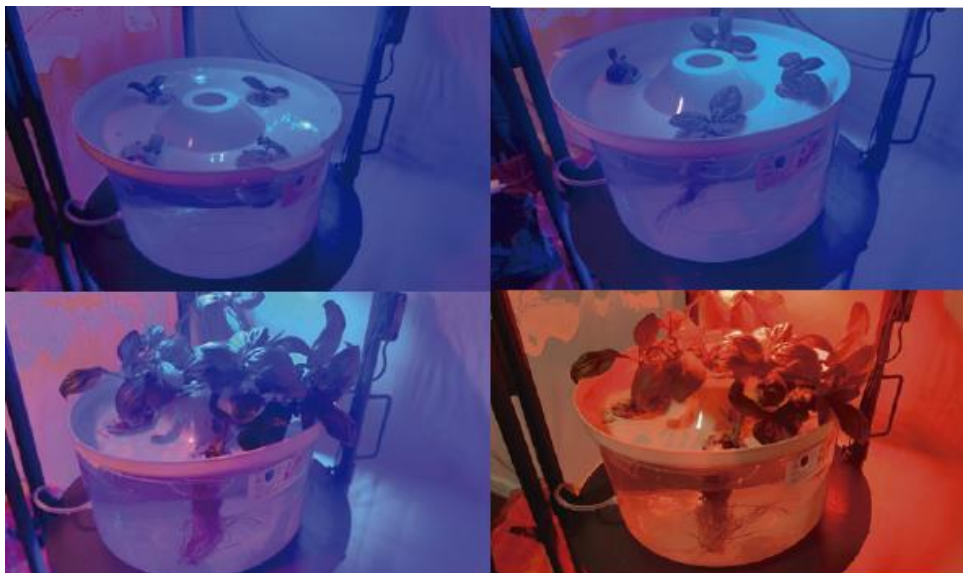
Como evidencia la tabla comparativa del crecimiento de la albahaca dulce en un sistema de cultivo en tierra y otro de cultivo hidropónico NFT, los resultados evidenciaron una clara ventaja en el crecimiento de las plantas en el sistema hidropónico. A lo largo de las 8 semanas de estudio, el cultivo hidropónico mostró un crecimiento progresivo y constante, superando al cultivo en tierra en todas las etapas de desarrollo. Estos resultados destacan el potencial del cultivo hidropónico NFT para obtener una producción más eficiente, con un aumento aproximado del 30% en el crecimiento en comparación con el cultivo tradicional en tierra. Esta diferencia significativa respalda la efectividad y la viabilidad del sistema hidropónico implementado en el cultivo de albahaca dulce, proporcionando una opción prometedora para el cultivo de plantas de forma más productiva y sostenible.

**Figura 4.** *Gráfica del Crecimiento de los Cultivos en Tierra vs en el Sistema Hidropónico*



Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

**Figura 5.** *Etapas de Crecimiento: Plántula, Hojas definitivas, fase vegetativa y fase de floración*



## Discusión

La discusión académica sobre los resultados del presente estudio adquiere una profundidad adicional al considerar los hallazgos y metodologías de los estudios previos en hidroponía y aeroponía, todos los cuales subrayan la creciente importancia de la automatización y la tecnología IoT en el cultivo de plantas. Esta convergencia de innovaciones tecnológicas representa un cambio paradigmático en la agricultura, dirigido hacia sistemas de producción de alimentos más eficientes y sostenibles, que son esenciales para enfrentar los desafíos del cambio climático y el crecimiento poblacional.

El presente estudio, por ejemplo, se hace eco de los hallazgos de Lakshmanan et al., (2020) ,quienes en su estudio enfatizan la automatización y la IoT como herramientas cruciales para mejorar la eficiencia de los sistemas de cultivo hidropónico. La inclusión de un bot para el control de la cadena de suministro y las alertas de notificación es una innovación que podría integrarse en el sistema “Titan Smartponics” para mejorar la gestión y operatividad. La aplicación de ciencia de datos y algoritmos de inteligencia artificial podría ser un paso futuro para este estudio, permitiendo optimizaciones más avanzadas en el control ambiental y la administración de nutrientes. En el presente estudio, la aplicación de ciencia de datos y algoritmos de inteligencia artificial no se ha implementado todavía, pero claramente se presenta como un siguiente paso evolutivo. La inclusión de estas tecnologías no

## Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

---

solo alinearían el sistema Titan Smartponics con las propuestas de Lakshmanan et al., (2020) sino que también podría potenciar la capacidad de autoajuste del sistema frente a variables ambientales fluctuantes, mejorando la precisión en la administración de nutrientes y el mantenimiento de las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas.

Por su parte, el enfoque de Chowdhury et al., (2020) en un sistema hidropónico vertical en Qatar resalta cómo la tecnología IoT puede aplicarse en contextos geográficos y climáticos desafiantes, una consideración importante para el presente estudio, que busca la viabilidad en zonas remotas. La monitorización y control remotos son un hilo común entre estos estudios, lo que demuestra una tendencia global hacia la automatización en la agricultura. Además, la atención al consumo de energía y agua reflejada en su trabajo sugiere la necesidad de una evaluación más exhaustiva de la eficiencia energética en este tipo de sistemas. El presente estudio también se ha centrado en la monitorización y el control remotos, resaltando así una tendencia global hacia la automatización en la agricultura, que es crucial para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de cultivo. Sin embargo, una diferencia clave con el de Chowdhury et al., (2020) es el énfasis, en la eficiencia del consumo de energía y agua. Mientras que el presente estudio se ha centrado en la automatización y el control a través de IoT, la consideración de Chowdhury et al., (2020) sobre la eficiencia energética resalta la importancia de una evaluación más profunda en este aspecto. Este punto sugiere que, además de la automatización, es esencial prestar atención a la sostenibilidad de los sistemas hidropónicos, especialmente en cuanto al uso de recursos como el agua y la energía.

Así también, el sistema desarrollado por Palande et al., (2018) representa un avance significativo en la hidroponía automatizada, demostrando cómo el control completo de los parámetros de crecimiento de las plantas puede optimizar la producción en una variedad de especies vegetales. La comparación entre plantas cultivadas en su sistema hidropónico automatizado y aquellas en condiciones exteriores subraya los beneficios tangibles de la automatización en la agricultura. Este contraste resalta cómo el entorno controlado, independiente del clima exterior, puede conducir a un crecimiento más saludable y eficiente de las plantas. Este hallazgo es especialmente relevante en el contexto del estudio de Rahman et al., (2018), que también explora la agricultura en entornos urbanos densamente poblados, donde las condiciones exteriores pueden ser menos ideales.

La discusión sobre los diversos estudios de hidroponía, particularmente en el contexto de la tecnología IoT y la automatización, revela una tendencia creciente hacia sistemas de cultivo más eficientes,

## Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

---

sostenibles y controlados. Los hallazgos en la literatura científica, incluido el sistema “Titan Smartponics” y otros estudios comparativos, confirman la eficacia del cultivo hidropónico para fomentar un crecimiento más rápido y robusto de las plantas en comparación con los métodos tradicionales de cultivo en suelo.

La capacidad de los sistemas hidropónicos para proporcionar un entorno controlado y una entrega precisa de nutrientes resulta en un desarrollo óptimo de las plantas, lo que se traduce en un incremento significativo de la productividad y calidad de los cultivos. Este enfoque permite una mayor eficiencia en el uso de recursos como el agua y los nutrientes, lo que es crucial en el contexto actual de desafíos ambientales y de seguridad alimentaria.

La integración de tecnologías IoT en estos sistemas no solo facilita la monitorización y el control remoto, sino que también abre la puerta a la implementación de técnicas avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático. Esta convergencia tecnológica tiene el potencial de transformar la agricultura, permitiendo una adaptación más precisa a las condiciones específicas de cada cultivo y entorno.

Además, la capacidad de estos sistemas de adaptarse a una variedad de entornos y tipos de cultivo, manteniendo al mismo tiempo la facilidad de uso y la eficiencia, subraya su potencial para revolucionar la producción de alimentos en diversos contextos. Desde entornos urbanos densamente poblados hasta regiones con condiciones climáticas extremas, la hidroponía automatizadas y controladas ofrecen soluciones viables y sostenibles para los retos agrícolas actuales.

### Conclusiones

En primer lugar, el sistema hidropónico implementado en la torre de cultivo domótica ha demostrado un control eficiente de variables ambientales como temperatura, pH y nivel de líquido, manteniéndolos dentro de rangos óptimos para el crecimiento de las plantas:

- Temperatura: Promedio de 20-25°C, con un rango de variación de 18-27°C.
- pH: Nivel de pH en el rango de 5.5-6.5, indicando una ligera acidez.
- Nivel de líquido: Mantenido entre el 70% y 80% de la capacidad total del cuerpo de la torre de cultivo.

La temperatura se ha mantenido estable y dentro de los rangos óptimos a lo largo de las 8 semanas de monitoreo, lo que indica la capacidad del sistema para regular y mantener condiciones térmicas adecuadas. El promedio de temperatura registrado durante este período fue de 22°C, con un rango de

## Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

---

variación de 21-23°C. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo recomendado para el cultivo de las plantas seleccionadas. La estabilidad de la temperatura demuestra la eficiencia del sistema en la regulación y control térmico, brindando un entorno favorable para el crecimiento saludable de las plantas y asegurando un rendimiento óptimo.

El pH en la solución nutritiva ha sido controlado de manera efectiva, manteniendo niveles estables y favorables para la absorción de nutrientes por parte de las plantas. Durante el período de monitoreo, el pH se ha mantenido en un rango óptimo de 6.5 a 7.0, lo cual es considerado neutro y propicio para el crecimiento saludable de las plantas. El sistema de control y regulación implementado ha demostrado ser eficiente en mantener el pH dentro de los rangos adecuados, evitando desequilibrios nutricionales y garantizando una absorción óptima de los nutrientes por parte de las plantas. Esta estabilidad en el pH de la solución nutritiva contribuye al desarrollo saludable de las plantas y al rendimiento deseado en el cultivo hidropónico implementado.

La pantalla táctil inteligente Nextion ha facilitado el monitoreo y control automatizado del sistema, proporcionando una interfaz intuitiva y personalizable para visualizar y ajustar las variables del sistema.

Además, el cultivo hidropónico implementado en la torre de cultivo domótica ha mostrado un crecimiento significativamente superior al cultivo en tierra. A lo largo de las 8 semanas de estudio, se ha observado un crecimiento progresivo y constante de las plantas en el sistema hidropónico, superando en tamaño y desarrollo a las plantas cultivadas en tierra. Esta diferencia en el crecimiento demuestra el potencial del cultivo hidropónico en torres verticales para lograr una producción más eficiente y productiva en comparación con los métodos tradicionales de cultivo en tierra. La capacidad de optimizar el espacio y los recursos, así como el control preciso de los factores ambientales, contribuyen a un crecimiento saludable y vigoroso de las plantas en el sistema hidropónico, lo que representa una ventaja significativa en términos de rendimiento y productividad.

El sistema de iluminación LED implementado ha desempeñado un papel crucial en el crecimiento óptimo de las plantas. A lo largo de las 8 semanas de monitoreo, se ha observado que el sistema de iluminación LED ha proporcionado la cantidad adecuada de luz necesaria para el proceso de fotosíntesis y el desarrollo saludable de las plantas. La calidad de la luz emitida por los LED ha sido óptima, asegurando una distribución uniforme de la luz en todo el sistema de cultivo. Esto ha contribuido a un crecimiento vigoroso de las plantas, promoviendo la formación de hojas verdes y

saludables, así como una mayor producción de biomasa. La eficiencia energética de los LED también ha sido notable, consumiendo menos energía en comparación con otras fuentes de iluminación convencionales.

### Referencias

- Abu Sneineh, A., & Shabaneh, A. A. A. (2023). Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the Internet of Things. *MethodsX*, 11, 102401. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102401>
- Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/46752>
- Colizzi, L., Caivano, D., Ardito, C., Desolda, G., Castrignanò, A., Matera, M., Khosla, R., Moshou, D., Hou, K. M., Pinet, F., Chanut, J. P., Hui, G., & Shi, H. (2020). Introduction to agricultural IoT. *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, 1-33. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818373-1.00001-9>
- Cosman, S. I., Moldovan, C. A., Iuşan, R. A., Oprea, C., & Marţiş, C. S. (2019). Development of an automated system to optimize greenhouse resource consumption. 2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), 1-7. <https://doi.org/10.1109/MPS.2019.8759727>
- Culebro, M., Cossío, A. G., López, J. A., Morales, N. A., & Guzmán, J. O. (2016). Modelo neurodifuso para el control de humedad del suelo en cultivo hidropónico para la planta de tomate. *Revista Tecnología Digital* Vol, 6(1), 43-56.
- Gómez, J. T. (2022). Uso de sensores para Monitoreo Factores Abióticos en Cultivos Plantas Medicinales I. E. Simón Bolívar. *Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*. <https://doi.org/10.23850/23899573.5411>
- Hosseini, H., Mozafari, V., Roosta, H. R., Shirani, H., van de Vlasakker, P. C. H., & Farhangi, M. (2021). Nutrient Use in Vertical Farming: Optimal Electrical Conductivity of Nutrient Solution for Growth of Lettuce and Basil in Hydroponic Cultivation. *Horticulturae*, 7(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090283>



Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

---

- Lakshmanan, R., Djama, M., Perumal, S., & Abdulla, R. (2020). Automated smart hydroponics system using internet of things. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10(6), Article 6. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i6.pp6389-6398>
- Macwan, J., Pandya, D., Mankad, A., & Pandya, H. (2021). REVIEW ON SOILLESS METHOD: HYDROPONICS. 11, 37122-37127.
- Negrete, J., Eugenio, R., Canteñs, G., Zuñiga-Avila, C., & López Hernández, G. (2018). Arduino board in the automation of agriculture in Mexico, a review. *International Journal of Horticulture*, 8.
- Noh, K., & Jeong, B. R. (2021). Optimizing Temperature and Photoperiod in a Home Cultivation System to Program Normal, Delayed, and Hastened Growth and Development Modes for Leafy Oak-Leaf and Romaine Lettuces. *Sustainability*, 13(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/su131910879>
- Olmos, S. E. (2023). Hidroponía en casa [Info:ar-repo/semantics/informe técnico]. EEA Colonia Benitez, INTA. <http://repositorio.inta.gob.ar:80/handle/20.500.12123/15736>
- Palande, V., Zaheer, A., & George, K. (2018). Fully Automated Hydroponic System for Indoor Plant Growth. *Procedia Computer Science*, 129, 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.03.028>
- Rani, R. S., Kumar, H. V. H., Mani, A., Reddy, B. S., & Rao, C. S. (2022). Soilless Cultivation Technique, Hydroponics- A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 22-30. <https://doi.org/10.9734/cjast/2022/v41i1331711>
- Sela, S., Rodov, V., Kenigsbuch, D., & Bar-Tal, A. (2023). Hydroponic Agriculture and Microbial Safety of Vegetables: Promises, Challenges, and Solutions. *Horticulturae*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010051>
- Szekely, I., & Jijakli, M. H. (2022). Bioponics as a Promising Approach to Sustainable Agriculture: A Review of the Main Methods for Producing Organic Nutrient Solution for Hydroponics. *Water*, 14(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/w14233975>
- Treftz, C., & Omaye, S. T. (2016). Hydroponics: Potential for augmenting sustainable food production in non-arable regions. *Nutrition & Food Science*, 46(5), 672-684. <https://doi.org/10.1108/NFS-10-2015-0118>

Control domótico de torre de cultivo hidropónico para interiores

---

- Vyshnavi, S. A., Agarwal, S., Jain, C., & Dubey, H. (2023). Hydroponic Farming. IJFMR - International Journal For Multidisciplinary Research, 5(2).  
<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i02.2286>
- Yuvaraj, M. F., Sankaran, P. K., Kirthika, C. P., Karunakaran, B., Sathish Kumar, S., Karthikeyan, D., Krishnan, M., & Babu, S. (2022). Views on virtual education during the COVID-19 pandemic among medical and paramedical students in India. Bioinformation, 18(6), 518-524. <https://doi.org/10.6026/97320630018518>
- Zumba, J. (2018). Evolución de las Metodologías y Modelos utilizados en el Desarrollo de Software. INNOVA Research Journal, 3, 20-33.  
<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n10.2018.651>