

EDICIÓN I

# FOMENTO DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE MEDIANTE CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN LA CIUDAD DE LOJA

Carrión Aguirre César Cristian | Chamba Sánchez Lorena Cecibel | Martínez Gonzaga  
Zoila Fabiola | Mingo Morocho Leydi Maribel | Prieto Merino Cristhian Fabian |  
Rosales Herrera David Paúl

---



# **FOMENTO DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE MEDIANTE CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN LA CIUDAD DE LOJA**

## **Autores:**

Leydi Maribel Mingo Morocho

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano - Loja

Cesar Cristian Carrión Aguirre

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano - Loja

David Paul Rosales Herrera

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano - Loja

Cristhian Fabian Prieto Merino

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano - Loja

Zoila Fabiola Martínez Gonzaga

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano - Loja

Lorena Cecibel Chamba Sánchez

Instituto Superior Tecnológico Sudamericano - Loja

La presente obra fue revisada por 2 pares académicos externos ciegos conforme al proceso editorial del Centro de Investigación Latinoamericano para el Desarrollo e Innovación CILADI.

Los rigurosos procedimientos editoriales de CILADI garantizan la selección de manuscritos por sus aportes significativos al conocimiento y cualidades científicas. Todas las obras publicadas por CILADI cuentan con ISBN y se encuentran disponibles en la web ([www.ciladi.org](http://www.ciladi.org))



Centro de Investigación Latinoamericano  
para el Desarrollo e Innovación  
Guayaquil- Ecuador  
<https://ciladi.org/>

AÑO 2024

Copyright © 2024

Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-9942-7217-5-4

## Prólogo

La búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles para la producción de alimentos se ha vuelto esencial. La hidroponía, una técnica de cultivo sin suelo, ha demostrado ser una alternativa viable y eficiente frente a los desafíos actuales de la agricultura tradicional. Este libro no solo explora los aspectos técnicos y prácticos de la hidroponía, sino que también destaca su relevancia en el contexto urbano de Loja, una ciudad emblemática por su compromiso con el desarrollo sostenible.

La importancia de esta obra radica en su capacidad para proporcionar un marco teórico sólido y detallado, así como en su enfoque práctico que facilita la implementación de sistemas hidropónicos en entornos urbanos. Al abordar temas críticos como la degradación del suelo y la escasez de agua, este libro ofrece una perspectiva innovadora y accesible para investigadores, profesionales y estudiantes interesados en la agricultura sostenible.

Además, la obra subraya el potencial económico y ambiental de la hidroponía, demostrando que es posible cultivar de manera eficiente en áreas urbanas y no agrícolas. La reducción en el uso de agua y la minimización del impacto ambiental son beneficios invaluable en un mundo que enfrenta constantes desafíos ecológicos.

"Fomento de la agricultura sostenible mediante cultivos hidropónicos en la ciudad de Loja" es, sin duda, un libro de referencia que contribuirá significativamente al desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles y al fomento de una conciencia ambiental en nuestras ciudades. Los conocimientos aquí compartidos no solo enriquecerán el campo de la investigación científica, sino que también inspirarán a futuras generaciones a adoptar y perfeccionar técnicas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Este libro, fruto del rigor científico y del compromiso con la sostenibilidad, es una herramienta invaluable para todos aquellos que buscan transformar la agricultura urbana y contribuir a un futuro más verde y próspero.

PhD. Antonio Poveda

Editor

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I: CULTIVOS HIDROPÓNICOS.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II: TECNOLOGÍA APLICADA EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO.....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO IV: PROCESO DE PRODUCCIÓN.....</b>	<b>77</b>

## Resumen

El libro explora la hidroponía, una técnica de cultivo sin suelo, como una solución innovadora y sostenible para la agricultura urbana en Ecuador. Ante los problemas de degradación del suelo y escasez de agua, la hidroponía utiliza soluciones nutritivas en lugar de tierra, lo que permite que las plantas crezcan de manera eficiente.

El capítulo uno introduce la hidroponía, explicando sus orígenes e importancia en el contexto ecuatoriano. El capítulo dos presenta el sistema hidropónico y describe sus componentes principales, como tanques de agua, bombas y tanques de cultivo. La tecnología de película de nutrientes (NFT) se destaca porque recircula una fina capa de solución nutritiva cerca de las raíces para mejorar la eficiencia del agua y los nutrientes.

El capítulo tres divide las diversas tecnologías hidropónicas en sistemas de medios líquidos y sistemas agregados. Los sistemas de medios líquidos, como los hidropónicos y aeropónicos líquidos, cultivan plantas directamente en una solución nutritiva. En cambio, en los sistemas de áridos se utilizan sustratos como arena, grava y lana de roca. Cada tecnología tiene sus propias ventajas y desafíos, y la elección depende de factores como el tipo de cultivo y las condiciones locales.

El capítulo cuatro describe la implementación de un sistema hidropónico en un entorno urbano, teniendo en cuenta factores como la luz solar, las condiciones climáticas adversas y la disponibilidad de agua, se enfatiza la importancia de un control climático preciso para mantener condiciones óptimas de crecimiento. El libro concluye en que la hidroponía no solo ofrece ventajas económicas, sino que también representa una opción más sostenible ambientalmente. La reducción en el uso de agua y la capacidad de cultivar en áreas urbanas y no agrícolas contribuyen a un menor impacto ambiental.

## **Abstract**

The book explores hydroponics, a soilless cultivation technique, as an innovative and sustainable solution for urban agriculture in Ecuador. In the face of soil degradation and water scarcity issues, hydroponics utilizes nutrient solutions instead of soil, enabling plants to grow efficiently.

Chapter one introduces hydroponics, explaining its origins and importance in the Ecuadorian context. Chapter two presents the hydroponic system and describes its main components, such as water tanks, pumps, and growing tanks. The nutrient film technique (NFT) is highlighted as it recirculates a thin layer of nutrient solution near the roots to enhance water and nutrient efficiency.

Chapter three categorizes various hydroponic technologies into liquid media systems and aggregate systems. Liquid media systems, such as liquid hydroponics and aeroponics, grow plants directly in a nutrient solution. In contrast, aggregate systems use substrates like sand, gravel, and rock wool. Each technology has its own advantages and challenges, and the choice depends on factors like crop type and local conditions.

Chapter four describes the implementation of a hydroponic system in an urban environment, considering factors such as sunlight, adverse weather conditions, and water availability. The importance of precise climate control to maintain optimal growing conditions is emphasized. The book concludes that hydroponics not only offers economic advantages but also represents a more environmentally sustainable option. The reduction in water usage and the ability to cultivate in urban and non-agricultural areas contribute to a lower environmental impact.



**CAPÍTULO I**  
**CULTIVOS HIDROPÓNICOS**

## 1. Introducción

Durante cientos de años, la agricultura en Ecuador ha ofrecido una amplia gama de cultivos para satisfacer las necesidades humanas, Sin embargo, el mal uso de tecnologías, como el riego y la fertilización, ha ocasionado la degradación de los suelos que actualmente miles de hectáreas no pueden cultivarse. (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

En los últimos sesenta años se ha trabajado en el desarrollo de nuevos sistemas que ayuden a solventar esos problemas, Uno de los más representativos es la hidroponía, que ofrece una alternativa para producir alimentos, no sólo en las áreas con problemas de contaminación de suelos y carencia de agua sino también en el medio doméstico. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

El término hidroponía se deriva del griego hydro = agua y ponos = trabajo o actividad, es decir, ‘trabajo del agua’ o ‘actividad del agua’. También se conoce como cultivo sin suelo, nutricultura, quimicultura, cultivo artificial o agricultura sin suelo. (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

La hidroponía tuvo su origen en el siglo XIX, derivada de los estudios sobre las vías de absorción de los nutrientes por las plantas que realizaron fisiólogos como Woodward y De Saussure. A partir de entonces, la técnica se ha extendido por todo el mundo, se practica en muchos países y algunas compañías transnacionales la utilizan para producir de manera intensiva. (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

La característica más importante de la técnica hidropónica es que en ninguna de las etapas de crecimiento se requiere del suelo como soporte o fuente de nutrimentos del cultivo; la planta toma los nutrimentos directamente del agua, donde se encuentran disueltos. La principal ventaja del sistema es que puede adaptarse a cualquier espacio, condición climática y economía. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

## 1.1 Sistema Hidropónico

Los sistemas hidropónicos constituyen una alternativa interesante, rentable y tecnológicamente adaptable a diferentes condiciones, especialmente en el ámbito urbano, donde cada día es imperante las necesidades alimenticias de una población en constante crecimiento, en este sistema los nutrientes son aportados mediante un flujo laminar de allí el significado en inglés de sus siglas, Nutrient Film Technique, de manera que de principio de esta modalidad consiste en la recirculación continua de solución nutritiva por una bomba, gracias al movimiento del agua y su caída al retornar al tanque es posible la oxigenación requerida por las plantas. (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

## 1.2 Elementos del Sistema Hidropónico

Los elementos del sistema hidropónico son los siguientes:

- **Tanque:** almacena la solución nutritiva, su capacidad dependerá del número de plantas que se desee producir.
- **Bomba:** envía la solución nutritiva del tanque hacia las tuberías de distribución.
- **Tuberías de distribución:** llevan la solución nutritiva hacia los canales de cultivo.
- **Canales de cultivo:** sostienen las plantas y en su interior recorre la solución.
- **Tuberías de drenaje:** recoge la solución nutritiva desde los canales y la lleva de retorno hacia el tanque.
- **Material vegetal:** plantas apropiadas para la germinación y cultivo hidropónico, en especial las hortalizas.
- **Sustrato:** base orgánica que sirve para la implantación.
- **Solución nutritiva:** nutrimentos líquidos que sirven para aportar nutrientes a las plantas. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

### 1.3 Técnicas Hidropónicas

La mayoría de las técnicas de producción en hidroponía son de sistema cerrado, la solución nutritiva excedente se recupera y, luego de restablecer su composición química, es nuevamente utilizada. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

El uso más eficiente de la solución nutritiva se presenta con el sistema cerrado, las técnicas de producción en hidroponía se clasifican en función del medio de crecimiento en que se desarrolla el sistema radical de las plantas, al conjuntar los criterios para clasificar a las técnicas hidropónicas se pueden clasificar en:

#### *Técnicas en Medio Líquido (No Agregado)*

En estas técnicas se ubican las de película nutritiva (NFT), hidroponía en flotación y la aeroponía; en el grupo agregado se encuentran los cultivos en arena, grava (rocas porosas de origen volcánico como tezontle, perlita y zeolita), otros sustratos como la lana de roca, aserrín, turba y espumas sintéticas como el poliestireno. La NFT es relativamente reciente, consiste en mantener en circulación una fina capa de solución nutritiva en las raíces de las plantas para proveer agua y nutrimentos, entre ellos el oxígeno. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

Las plantas crecen en canales formados por una película de polietileno, dentro de los cuales se depositan las raíces, se cubre de la luz y se hace fluir la solución nutritiva. el plástico es completamente opaco en su interior, para evitar el desarrollo de algas, mientras que en su exterior es de color blanco para evitar el calentamiento de la solución nutritiva y las raíces. (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

La longitud del canal es de aproximadamente 20 m, con una pendiente entre 1.5 y 2 %, el flujo de la solución nutritiva debe ser entre 60 y 120, las plántulas se desarrollan en cubos de lana de roca, al trasplantarlas se colocan en el canal con todo y cubo, se han efectuado adaptaciones a la NFT, pero en esencia el principio se mantiene; la diferencia fundamental consiste en la sustitución del polietileno por otros materiales como, por ejemplo: concreto recubierto con resinas para aislar a la solución nutritiva del concreto, tubos de cloruro de polivinilo (PVC) con un orificio en cada punto donde se inserta la planta; sin embargo, esta modificación se ha adaptado a especies de menor altura, como por ejemplo lechuga y fresa. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

La hidroponía en flotación consiste en sumergir el sistema radical en la solución nutritiva, el vástago de la planta es suspendido sobre la solución nutritiva con materiales ligeros e inertes, el más utilizado es la placa de unicel continuamente es aireada, esta técnica tiene poca aplicación en la producción de tomate. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

La diferencia entre la hidroponía en flotación y la aeroponía consiste en que en esta última las raíces se asperjan con la solución nutritiva cada cierto tiempo con el fin de mantenerlas humedecidas, esta técnica es poco utilizada a nivel comercial, su mayor aplicación es a nivel de laboratorio para estudios de fisiología vegetal. (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

Las técnicas de producción en agregado son: Cultivo en arena. Esta técnica es utilizada donde la arena es el material más fácilmente disponible como en los desiertos, las partículas deben ser menores que 2 mm y mayores que 0.6 mm de diámetro, el principal sistema de riego que se asocia a esta técnica es el riego por goteo, Se deben aplicar de dos a cinco riegos por

día, dependiendo de la especie cultivada, la etapa fenológica, la variedad y las condiciones del ambiente (temperatura y humedad relativa). (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

### ***Cultivo en Grava***

Su mayor uso es en los lugares donde abunda la roca volcánica, a esta técnica también se le conoce como subirrigación, debido a la asociación de este tipo de riego con este sustrato, las partículas de grava deben tener un diámetro entre 2 y 20 mm, más de la mitad del volumen debe tener partículas de aproximadamente 12 mm de diámetro. Las partículas deben tener consistencia para evitar su fractura, capacidad para retener humedad en su espacio libre, buen drenaje para facilitar la aireación de las raíces y no deben liberar sustancias que se solubilizan en el agua. (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

Los materiales que se utilizan en este sistema son: la vermiculita, es un mineral con estructura en micas, el cual es expandido cuando se calienta a 1000 o C debido a que pierde el agua que tiene atrapada entre sus láminas formando pequeños poros, es estéril, ligera (0.1 a 0.2 g cm<sup>-3</sup>), insoluble en agua, pH neutro, capacidad para amortiguar el pH, y relativamente alta capacidad de intercambio de cationes; la perlita, es otro mineral de origen volcánico, al calentarla a 760 o C la humedad que tiene atrapada en sus partículas es transformada a vapor, en este proceso se expanden, su peso específico es de 0.08 a 0.13 g cm<sup>-3</sup>; diámetro de 2 a 4 mm, la capacidad de retención de agua es de tres a cuatro veces su peso, no tiene capacidad para amortiguar el pH; el tezontle, es un mineral aluminosilicato de origen volcánico, se utiliza en forma natural. (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

## ***Turba***

Aguilar, Guillen y Rodríguez, (2015) afirman que “la descomposición parcial de plantas acuáticas, de pantanos o ciénagas, la composición química depende de la naturaleza de los materiales que le dan origen y la etapa de descomposición, la lana de roca, está constituida por 5 % de minerales en forma de fibras, 95 % de su espacio poroso lo ocupan el agua y el aire, 80 % y 15 %, respectivamente” (p.32).

Este material es producido a partir de rocas volcánicas, piedra caliza y carbón mineral, fundidos a 1800 o C, no se degrada químicamente y es biológicamente inofensivo. Existen cubos de aproximadamente 7.5 cm de cada lado, cada cubo tiene un orificio en el centro de la cara superior, en el que se coloca la plántula para su posterior desarrollo, cuando el sistema radical empieza a exceder el volumen del cubo, si el desarrollo posterior de la planta se va a efectuar en NFT, se coloca el cubo con la planta en el interior de la película plástica de polietileno donde fluye la solución nutritiva, si la planta continúa su desarrollo en lana de roca, el cubo con la planta se coloca sobre un bloque de este material recubierto de una película plástica con una perforación donde se coloca el cubo con la planta, las dimensiones más comunes del bloque son 90 x 30 x 7.5 cm (longitud x anchura x altura), al continuar creciendo la planta, sus raíces se desarrollarán en el bloque. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

El riego se aplica por goteo en el cubo, a partir del cual la solución nutritiva se difunde hasta el bloque, este tipo de sistema es abierto; es decir, la solución nutritiva que se aplica la absorbe la planta, la retiene el sustrato o una pequeña fracción se evapora entre los materiales que se utilizan en las diferentes técnicas hidropónicas, aunque algunos tienen ventajas sobre otros, todos han sido importantes en la producción, la selección de la técnica y del sustrato

depende, además de las propiedades físicas y químicas de los materiales, de la disponibilidad y del precio. (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

#### **1.4 Localización de Un Sistema Hidropónico**

Se puede realizar tanto en el ámbito urbano, en la terraza, patio, balcón incluso en el techo de las viviendas; o en el ámbito rural mediante el empleo de invernaderos, para escoger la **localización óptima** para realizar un cultivo hidropónico se deberá tener en cuenta una serie de características:

- Exposición solar mínima de 6 horas diarias
- Evitar en la plantación que se produzcan sombras mediante edificios o árboles que reduzcan el tiempo de exposición al sol.
- Escoger un lugar protegido de las condiciones climáticas adversas como lluvias intensas y vientos.
- Lugar con un acceso fácil para el agua de riego. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

El invernadero tendrá que estar provisto de corriente eléctrica para mantener un adecuado control climático, riegos, ventilaciones, una temperatura media entre 15 y 18 °C tanto en la parte de sustrato como aérea y riego por micro aspersion o nebulizadores para contribuir en una mayor humedad ambiental, además sería interesante también el empleo de sondas para controlar las variables climáticas de una forma automatizada. (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

Para evitar la formación de sombras y una insolación uniforme en las filas del cultivo se recomienda una orientación Norte-Sur, para una ventilación adecuada a una altura de los



invernaderos de 3.5 metros que permita una buena tasa de renovación del aire. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

## **1.5 Condiciones Climáticas**

Las condiciones climáticas están sujetas al tipo de vegetales que se plantea germinar y cultivar, a continuación, se presenta una lista de especies de plantas de acuerdo a la temperatura ideal del lugar donde se pretende realizar la hidroponía. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

### ***Hortalizas de clima frío (temperatura media mensual 15 a 18 °C)***

- Amarillidáceas: cebolla, ajo, poro o puerro.
- Umbelíferas: zanahoria, apio, cilantro, perejil.
- Chenopodiáceas: betabel, acelga, espinaca.
- Liliáceas: espárrago.
- Crucíferas: brócoli, coliflor, col, colinabo, col de bruselas.
- Compuestas: lechuga, alcachofa.

### ***Hortalizas de clima cálido (temperatura media mensual 18 a 30 °C).***

En general son hortalizas de fruto, no toleran heladas.

- Leguminosas: chícharo, frijol ejotero, jícama, haba.
- Solanáceas: chile, jitomate, papa, tomate.
- Gramíneas: maíz dulce.
- Euforbiáceas: yuca.
- Convolvuláceas: camote.

- Portulacáceas: verdolaga.
- Cucurbitáceas: calabacita, sandía, pepino, melón.
- Labiadas: hierbabuena, orégano. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

Las plantas de todas las especies y en este caso las aromáticas requieren de varios factores ambientales para que el crecimiento pueda ocurrir, estas son: agua, oxígeno, temperatura, iluminación entre otras. (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

**Agua**, se debe considerar el PH de la misma, El cambio de agua es el reemplazo de la solución nutritiva, que deberá cambiarse cada cuatro semanas, y únicamente se agregará agua el resto de los días hasta llenar el nivel del tanque de almacenamiento. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

**Oxígeno**, durante el proceso de crecimiento se acelera la respiración y, por tanto, se incrementa el requerimiento de oxígeno, es por ello necesario colocar el sistema en un lugar ventilado, aunque no se requiere de mucho espacio. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

**Temperatura**. Las plantas de toronjil y albahaca requieren una temperatura entre 10 y 22 °C, en este caso cuando las temperaturas sobrepasan los 22°C se activa el aspersor que posee el sistema para permitir humedad a las plantas. (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

**Iluminación**, La solución nutritiva debe permanecer en la oscuridad para evitar el crecimiento de algas que provocan competencia por oxígeno y nutrientes con las raíces, por ello se recomienda que los recipientes o contenedores de las plantas tengan tonos oscuros, sin embargo, las plantas necesitan de luz solar para realizar el proceso de fotosíntesis. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

**Aireación.** Las raíces de todas las plantas necesitan oxígeno para respirar. La aireación puede ser natural, dejando un espacio entre el nivel del agua, aunque el bombeo ayuda a la ganancia de oxígeno. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

**Profundidad del lecho,** por la especie que se ha utilizado el lecho debe tener entre 5 y 10 cm de profundidad en el tubo. (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

## **1.6 Sustrato**

El término “sustrato”, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que, colocado en contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular; el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada. Esto último, clasifica a los sustratos en químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.) y químicamente activos (turba, corteza de pino, etc.). En el caso de los materiales químicamente inertes, éstos actúan únicamente como soporte de la planta, mientras que en los restantes intervienen además en procesos de adsorción y fijación de nutrientes que puede hacerse referencia a los requerimientos que un sustrato debe tener, como son: (Pastor, 2015, pp. 22-28)

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible
- Elevada aireación
- Baja densidad aparente
- Elevada porosidad
- Baja salinidad
- Elevada capacidad tampón
- Baja velocidad de descomposición
- Estabilidad estructural

- Reproductividad y disponibilidad
- Bajo costo
- Fácil manejo (mezclado, desinfección, etc.)

Los sustratos son los medios donde se va a proceder para el desarrollo de las especies que queremos plantar en nuestro cultivo hidropónico. Se caracterizan por ser inertes (de ahí que se conozcan como cultivos sin suelo) en relación a un aporte nutricional, Puede haber de dos tipos de sustrato: (Pastor, 2015, pp. 22-28)

#### ***Sustrato Sólido:***

Dentro de éstos puede haber numerosos tipos de sustratos:

***Orgánico:*** Son materiales biodegradables que con el paso del tiempo se descomponen como el carbón vegetal, fibra de coco, granza de arroz. Por este motivo no son convenientes emplearlos en cultivos que presentan una producción a largo plazo y debe realizarse un buen lavado, principalmente en la fibra de coco, porque las sales pueden alterar la conductividad eléctrica. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

***Inorgánico:*** Son materiales más sencillos de desinfectar, pero con un manejo más complicado ya que según el material presenta diferentes distancias de siembra por la formación del bulbo húmedo y aportaciones de agua de riego y solución nutritiva. Los más empleados son la arcilla expandida, lana de roca y perlita. (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

#### **1.6.1 Propiedades de los Sustratos**

Las propiedades de tipo físico resultan de enorme importancia para el correcto desarrollo de la planta; cabe señalar, que una vez colocada ésta en el contenedor resulta prácticamente imposible modificar sus parámetros físicos iniciales, algo contrario ocurre con las propiedades de tipo químico, que pueden resultar modificables mediante técnicas de cultivo adecuadas, esto

hace que deba de contemplarse con especial cautela todo lo referente a los parámetros físicos, en especial al binomio “retención de agua – aireación”. Condición responsable del éxito o fracaso de la utilización de un determinado material como sustrato de cultivo. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

Las características de los sustratos pueden ser:

***Características Físicas:*** Estas vienen determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y el tipo de empaquetamiento, algunas de las más destacadas son:

- Densidad real y aparente
- Distribución granulométrica
- Porosidad y aireación
- Retención de agua
- Permeabilidad
- Distribución de tamaños de poros
- Estabilidad estructural (Zárate, 2015, pp. 5-17)

***Características Químicas:*** Estas propiedades vienen definidas por la composición elemental de los materiales; éstas caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del mismo, entre las características químicas de los sustratos destacan:

- Capacidad de intercambio catiónico
- pH
- Capacidad tampón
- Contenido de nutrientes (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

**Características Biológicas:** Se refiere a propiedades dadas por los materiales orgánicos, cuando éstos no son de síntesis son inestables termodinámicamente y, por lo tanto, susceptibles de degradación mediante reacciones químicas de hidrólisis, o bien, por la acción de microorganismos, entre las características biológicas destacan:

- Contenido de materia orgánica
- Estado y velocidad de descomposición (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

Una vez conocidos los principales parámetros que definen un sustrato, probablemente proceda hacer referencia al “sustrato ideal”, el sustrato adecuado para cada caso concreto dependerá de numerosos factores: tipo de planta que se produce, fase del proceso productivo en el que se interviene (semillado, estaquillado, crecimiento, etc.), condiciones climatológicas, y lo que es fundamental, el manejo de ese sustrato, por lo tanto, la imposibilidad de referenciar un sustrato ideal, pero sí que puede hacerse referencia a los requerimientos que un sustrato debe tener, como son:

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible
- Elevada aireación
- Baja densidad aparente
- Elevada porosidad
- Baja salinidad
- Elevada capacidad tampón
- Baja velocidad de descomposición
- Estabilidad estructural
- Reproductividad y disponibilidad
- Bajo costo
- Fácil manejo (mezclado, desinfección, etc.) (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

Los principales parámetros que definen esas propiedades físicas son: Agua fácilmente disponible (AFD). Se refiere a la cantidad de agua (% en vol.) que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 10 y 50 cm de columna de agua. Valor óptimo: 20 a 30 %. Agua de reserva (AR). En este caso se refiere a la cantidad de agua (% en vol.) que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 50 y 100 cm de columna de agua. Valor óptimo: 4 a 10 %. Agua difícilmente disponible (ADD), se trata del agua (% en vol.) que queda retenida en el sustrato después de aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua; capacidad de aireación (CA). (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

La proporción del volumen del sustrato que contiene aire después que dicho sustrato ha sido llevado a saturación y dejado drenar (normalmente a 10 cm de columna de agua). El valor óptimo se produce cuando se dan valores entre 10 y 30 %; espacio poroso total (EPT) es el volumen total del sustrato de cultivo que no está ocupado por partículas orgánicas o minerales. Es un dato que se determina a partir de las densidades real y aparente. Su valor óptimo se produce cuando alcanza niveles superiores a 85 %. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

### **1.7 Solución nutritiva**

La solución nutritiva consiste en agua con oxígeno y los nutrientes esenciales en forma iónica, algunos compuestos orgánicos como los quelatos de fierro forman parte de la solución nutritiva, para que la solución nutritiva tenga disponibles los nutrientes que contiene, debe ser una solución verdadera, todos los iones se deben encontrar disueltos, la pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de los nutrientes puede ocasionar su deficiencia en la planta. Además, de este problema se genera un desbalance en la relación mutua entre los iones. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

Aguilar, Guillen y Rodríguez, (2015) afirman que “ En hidroponía, las necesidades nutrimentales que tienen las plantas son satisfechas con los nutrimentos que se suministran en la solución nutritiva, la cantidad de nutrimentos que requieren las plantas depende de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales, cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una solución nutritiva con características específicas, las principales características que influyen en el desarrollo de los cultivos y sus productos de importancia económica son: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos (representada por la CE), el pH, la relación  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  y la temperatura de la solución nutritiva” (p.33).

La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrimentos. Por ejemplo, para la mayoría de las variedades de tomate es de aproximadamente 22 °C, en la medida que la temperatura disminuye también disminuye la absorción y asimilación de los nutrimentos, sin embargo, la temperatura de la solución nutritiva tiene aún mayor efecto en la absorción de P que de N y agua, con temperaturas menores que 15 °C, encontraron deficiencias de  $\text{Ca}^{2+}$ , P y  $\text{Fe}^{2+}$ . A bajas temperaturas la suberización de la endodermis se extiende al ápice de la raíz e influye en la absorción de los nutrimentos, la deficiencia de  $\text{Ca}^{2+}$  debida a la baja temperatura ocasiona mayor incidencia en la pudrición apical del fruto. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

La temperatura de la solución nutritiva tiene relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta e inversa con el oxígeno disuelto, la temperatura menor que 22 °C el oxígeno disuelto en la solución nutritiva es suficiente para abastecer la demanda de este nutrimento. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

***Solución Nutritiva (Fertilizantes) “A” Macronutrientes, “B” Micronutrientes:*** Los fertilizantes son sales con varios elementos químicos que cumplen diversas funciones en las



plantas. Por la cantidad que éstos se requieren se dividen en macronutrientes y micronutrientes. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

**Macroelementos o macronutrientes:** carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), se agrega la cantidad de 0,5ml por cada litro de agua, en nuestro sistema para un tanque de capacidad de 50 litros se añade 250 ml de solución. (Aguilar, Guillen y Rodríguez, 2015, pp. 32-39)

**Microelementos, micronutrientes o elementos traza;** hierro o hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y boro (B). Las plantas toman el carbono del CO<sub>2</sub> del aire; el oxígeno y el hidrógeno, se agrega la cantidad de 0,2ml por cada litro de agua, en nuestro sistema para un tanque de capacidad de 50 litros se añade 100 ml de solución. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

**Tabla 1**  
*Información macro y micronutrientes*

Macronutrientes	Símbolo	Forma en que se absorbe por la planta
Nitrógeno	N	Nitratos
Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Óxido de fósforo
Potasio	K <sub>2</sub> O	Óxido de potasio
Macronutrientes	Símbolo	Forma en que se absorbe por la planta
Calcio	Ca	Calcio
Magnesio	Mg	Magnesio
Azufre	S	Azufre
Hierro	Fe	Hierro
Manganeso	Mn	Manganeso
Zinc	Zc	Zinc

*Nota.* La tabla muestra información micro y macro nutrientes para cultivos hidropónicos, tomado del manual de hidroponía, 2015.

## 1.8 PH del Agua

Se recomienda realizar análisis químicos del pH, y del contenido de fosfatos, cloruros, calcio, magnesio, potasio, boro, fierro, cobre, manganeso, zinc, molibdeno, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, sulfuros, en cultivos caseros, es necesario que por lo menos se realice el análisis de pH, El mismo indica qué tan ácida o alcalina es una sustancia en una escala de

cero a catorce, un pH de 0 a 6.9 indica acidez; uno de 7.0 neutro y el de 7.1 a 14 indica alcalinidad en el agua. (Cosquillo, 2015, pp. 21-27)

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. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

Los fertilizantes pueden alterar el pH original del agua. El pH que se debe mantener en la solución nutritiva va de 6.0 a 7.5. Cuando éste es muy ácido, se agrega una pizca de bicarbonato de sodio para obtener el nivel deseado, cuando el sistema es utilizado para actividad comercial se coloca hidróxido de potasio. (Ramírez, 2015, pp. 28-35)

En ámbitos caseros, si el pH es alcalino, puede usarse vinagre para obtener el pH adecuado. En los cultivos comerciales se utilizará ácido sulfúrico o fosfórico diluido.

A pH mayor que 8.3 el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  se precipitan fácilmente en forma de carbonatos. Una concentración de  $\text{HCO}_3^-$  mayor que 10 mol  $\text{m}^3$  puede ser tóxica para las plantas, la forma de disminuir el contenido de este ion es neutralizándolo con un ácido fuerte, por ejemplo, la principal forma en que el fósforo es absorbido por las plantas es  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , al igual que el  $\text{HCO}_3^-$  el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  está sujeto a cambiar a otras formas derivadas de la disociación del  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , en la medida que aumenta el pH aumenta el grado de disociación de este ácido. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

Entre el pH de 5.5 y 6.0 predomina el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en relación con el  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , o al  $\text{HPO}_4^{2-}$ , pero en la medida que aumenta el pH aumenta la proporción de  $\text{HPO}_4^{2-}$  respecto a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , el  $\text{HPO}_4^{2-}$  se precipita con el  $\text{Ca}^{2+}$  cuando el producto de la concentración de estos dos iones, expresado en mol  $\text{m}^3$ , es mayor que 2.2. (Aguilar, Guillen y Rodríguez, 2015, pp. 32-39)

En general, son estos dos iones los que precipitan en un intervalo más amplio de pH, la solubilidad de estos dos iones también está en función del pH; en la medida que éste aumenta, la solubilidad de esos cationes disminuye, para el caso del hierro, en hidroponía se recomienda el uso de la forma  $Fe^{2+}$  (reducida), la forma (oxidada)  $Fe^{3+}$  es menos soluble, ésta precipita como  $Fe(OH)_3$  El  $Fe^{2+}$  tiende a oxidarse, una forma de controlar su solubilidad es evitando que el pH sea mayor que 6. Otra forma es aplicar el  $Fe^{2+}$  en forma de quelato, por ejemplo, la sal disódica. (Aguilar, Guillen y Rodríguez, 2015, pp. 32-39)

### **1.9 Trasplante Directo de Plántulas**

En el trasplante, la planta se saca del semillero donde germinó y generó sus primeros brotes, y se pasa al recipiente el cual se colocará en el sistema donde permanecerá hasta que sea tiempo de su cosecha. (Aguilar, Guillen y Rodríguez, 2015, pp. 32-39)

La decisión de sembrar directamente depende del tipo de planta y de la estructura del sistema hidropónico, en este caso se utilizó el sistema horizontal, la distancia que debe mantener una de otra debe ser equidistante no sobrepasar los 15 cm. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

### **1.10 Poda**

Es la eliminación de hojas, ramas y parte de raíz, si fuese necesario, de la planta para reducir una abundante ramificación, en el cultivo de albahaca y toronjil se realizó de tal forma que se deja la raíz como a manera de tallo vertical, sin expansión, las hojas amarillas o secas se extraen para evitar que consuman y/o disminuyan energía a las hojas que están brotando, para realizar la poda se recomienda tener en cuenta la meteorología empírica, es decir, guiarse por la luna nueva y luna creciente, en este caso la actividad se realizó el día 13 de enero. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

### **1.11 Control de Plagas y Enfermedades**

Para evitar el uso de pesticidas químicos se pueden usar bioinsecticidas que actúan principalmente como repelentes, o bien, productos orgánicos que son efectivos tanto para el control de enfermedades como para el combate de plagas. (Zárate, 2015, pp. 5-17)

### **1.12 Conductividad eléctrica**

Existe una relación directa entre la concentración de nutrientes y solución nutritiva al aumentar la conductividad eléctrica, la planta debe destinar mayor energía para absorber agua y nutrientes, este desgaste de energía puede ser en detrimento de energía metabólica. (Guzmán, 2014, pp. 15-23)

El conjunto de estos fenómenos puede ser reflejado en una disminución del desarrollo de la planta ya que la conductividad eléctrica influye en la composición química de las plantas al aumentar la conductividad aumenta la concentración de  $K^+$  en las plantas a expensas principalmente de  $Ca^{2+}$ , También se incrementa la concentración de P y en menor medida la de  $NO_3^-$ , ambos a costa de  $SO_4^{2-}$ , este comportamiento se presenta independientemente de la etapa de desarrollo, en la medida que la solución nutritiva aumenta su conductividad eléctrica disminuye la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. (Pastor, 2015, pp. 22-28)

La solución nutritiva con conductividad eléctrica menor puede inducir deficiencias nutrimentales, al aumentar la conductividad eléctrica la solución puede inducir a una deficiencia hídrica, aumenta la relación  $K^+$ : ( $K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + NH_4^+$ ) ocasionando desbalances nutrimentales. (Aguilar, Guillen y Rodríguez, 2015, pp. 32-39)

## **CAPÍTULO II**

### **TECNOLOGÍA APLICADA EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS**

## **2.1. Introducción a la tecnología en la hidroponía**

La hidroponía es una técnica de cultivo de plantas en la que se utilizan soluciones de nutrientes en lugar de suelo para su crecimiento y desarrollo. Esta técnica ha sido utilizada desde hace siglos, pero ha sido en las últimas décadas cuando ha experimentado un mayor desarrollo y evolución gracias a la introducción de la tecnología en la hidroponía (Gómez et al., 2018).

La tecnología ha permitido mejorar la eficiencia y la productividad de los sistemas hidropónicos, lo que ha llevado a un aumento en la producción de alimentos frescos y saludables en todo el mundo. Uno de los principales beneficios de la tecnología en la hidroponía es la capacidad de monitorear y controlar los factores ambientales que afectan al crecimiento de las plantas, como la temperatura, la humedad y la iluminación (Chang et al., 2017).

La introducción de la tecnología en la hidroponía ha permitido el desarrollo de sistemas automatizados que pueden monitorear y controlar estos factores de manera precisa y eficiente. Esto no solo reduce el tiempo y el esfuerzo necesarios para mantener los sistemas hidropónicos, sino que también mejora la calidad y el rendimiento de los cultivos (Gómez et al., 2018).

La tecnología también ha permitido la utilización de iluminación artificial en los sistemas hidropónicos, lo que permite a los agricultores cultivar plantas en ambientes controlados sin depender de la luz solar. Esto ha llevado a un aumento en la producción de alimentos durante todo el año, independientemente de la ubicación geográfica (Berkhout et al., 2018).

Además, la introducción de la tecnología en la hidroponía ha permitido la utilización de sistemas de recirculación de nutrientes, lo que reduce el uso de agua y nutrientes y mejora la sostenibilidad ambiental de la producción de alimentos (Zhang et al., 2019).

La introducción de la tecnología en la hidroponía ha permitido el desarrollo de sistemas de cultivo más eficientes, productivos y sostenibles que pueden proporcionar alimentos frescos y saludables durante todo el año. La tecnología continúa evolucionando y mejorando los sistemas hidropónicos, lo que sugiere que la hidroponía seguirá desempeñando un papel importante en la producción de alimentos en el futuro (Chang et al., 2017).

La tecnología en la hidroponía se ha desarrollado significativamente en las últimas décadas, lo que ha permitido a los cultivadores hidropónicos producir cosechas más eficientes y de mayor calidad. Algunas de las tecnologías más comunes utilizadas en la hidroponía incluyen:

La iluminación artificial desempeña un papel crucial en la hidroponía, ya que proporciona la luz necesaria para el crecimiento de las plantas. Los LED se han convertido en la tecnología más utilizada en la iluminación artificial de la hidroponía debido a su eficiencia energética y su capacidad para ofrecer un espectro de luz adecuado para el desarrollo de las plantas (Burés, 2018).

Por otro lado, el control de clima también es una tecnología de gran importancia en la hidroponía, ya que permite a los cultivadores mantener una temperatura, humedad y ventilación óptimas para el crecimiento saludable de las plantas (Affren , 2019).

Asimismo, los sensores y sistemas de monitoreo son herramientas indispensables en la hidroponía, ya que permiten a los cultivadores controlar y ajustar los niveles de nutrientes, pH y otros factores ambientales para asegurar un crecimiento óptimo de las plantas (Jin, 2019). Los nutrientes y soluciones de nutrientes son críticos para el éxito de la hidroponía, y la tecnología ha permitido a los cultivadores crear mezclas de nutrientes personalizadas para satisfacer las necesidades específicas de cada tipo de planta.

Para una forma resumida de entender se puede manifestar que, la tecnología en la hidroponía como el uso de iluminación y nutrientes artificiales, así como el monitoreo mediante sensores ha permitido a los cultivadores producir cosechas más eficientes y de mayor calidad usando estos sistemas de cultivo avanzados.

La electrónica también juega un papel importante en la hidroponía, ya que permite a los cultivadores controlar y monitorear los sistemas de cultivo y el ambiente de crecimiento de las plantas de manera precisa y eficiente. Algunos ejemplos de cómo la electrónica se utiliza en la hidroponía incluyen:

Controladores de pH y nutrientes: Los controladores electrónicos se utilizan para monitorear y ajustar los niveles de pH y nutrientes en la solución de nutrientes en tiempo real. Estos controladores utilizan sensores de pH y conductividad eléctrica para medir los niveles de

nutrientes y pH, y luego ajustan automáticamente la solución de nutrientes según los valores establecidos por el cultivador.

**Sistemas de riego automatizados:** Los sistemas de riego automatizados utilizan sensores de humedad del sustrato y bombas de agua controladas electrónicamente para regar las plantas en función de las necesidades de agua de cada una. Esto ayuda a evitar el riego excesivo o insuficiente, lo que puede afectar el crecimiento de las plantas.

**Sensores de temperatura y humedad:** Los sensores de temperatura y humedad son comunes en la hidroponía, ya que permiten a los cultivadores monitorear el ambiente de crecimiento de las plantas y ajustar el clima en consecuencia.

**Iluminación LED controlada electrónicamente:** Las luces LED utilizadas en la hidroponía se pueden controlar electrónicamente para ajustar la intensidad y el espectro de la luz en función de las necesidades de las plantas en cada etapa de crecimiento.

**Sistemas de monitoreo remoto:** Los sistemas de monitoreo remoto permiten a los cultivadores controlar y monitorear sus sistemas de hidroponía desde cualquier lugar, utilizando aplicaciones móviles y plataformas en línea. Esto proporciona una mayor comodidad y flexibilidad para los cultivadores, especialmente aquellos que tienen múltiples sistemas de cultivo.

La electrónica es esencial para la eficiencia y el éxito de la hidroponía, ya que permite a los cultivadores monitorear y controlar los sistemas de cultivo y el ambiente de crecimiento de las plantas de manera precisa y eficiente.

## **2.2. Diseño y construcción de sistemas hidropónicos automatizados**

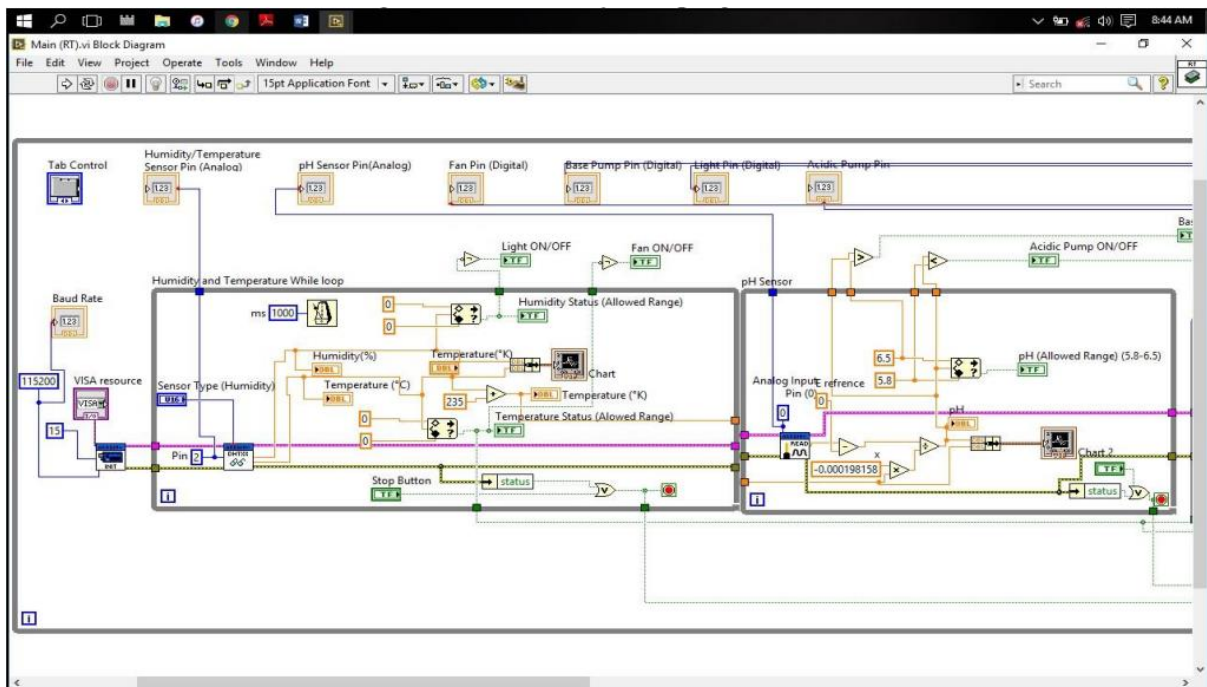
El desarrollo en hidroponía ha generado la necesidad de un sistema hidropónico automatizado y autónomo. En la actualidad, existen pocas herramientas disponibles y las existentes presentan deficiencias significativas para utilizar la información en tiempo real. Existen distintas metodologías para el diseño y construcción de sistemas hidropónicos automatizados dependiendo de los objetivos principales del sistema y de los resultados que se quieren conseguir. Al margen de esto, las tecnologías aplicables variarán en función de criterios de disponibilidad, rentabilidad, utilidad y capacidad de optimizar procesos. Se han propuesto varios métodos para utilizar efectivamente los datos en tiempo real para influir en las medidas



contra restantes. El objetivo casi siempre es el de construir un sistema automatizado autónomo y autocontrolado que sea eficiente mediante la optimización del uso de la tecnología actual. Los datos en tiempo real se pueden importar desde microcontroladores de bajo costo como los arduino, y se pueden utilizar herramientas de software como NI LabVIEW para monitorear y automatizar el proceso en tiempo real y enviar estos datos a través de la red para aplicaciones de IoT, como se ve en la Figura 1. Además de esto, se puede llevar a cabo control, utilizando controladores PID tradicionales (Figura 1) o incluso algoritmos de control más avanzados. Muchos sistemas han sido ya rigurosamente probados, demostrando su validez del trabajo y su rentabilidad, de tal manera que pueden implementarse con éxito en la mayoría de los ecosistemas existentes (Adhau y otros, 2017).

**Figura 1**

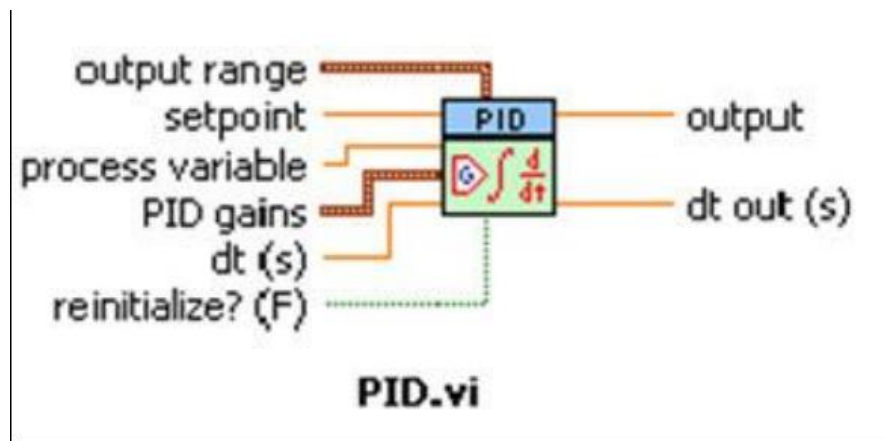
*Ejemplo de programa en LabVIEW para sistemas hidropónicos automatizados*



*Nota. Tomado de Sub vi of the system program in LV [Imagen], (Adhau et al, 2017).*

**Figura 2**

*Control PID en LabVIEW*

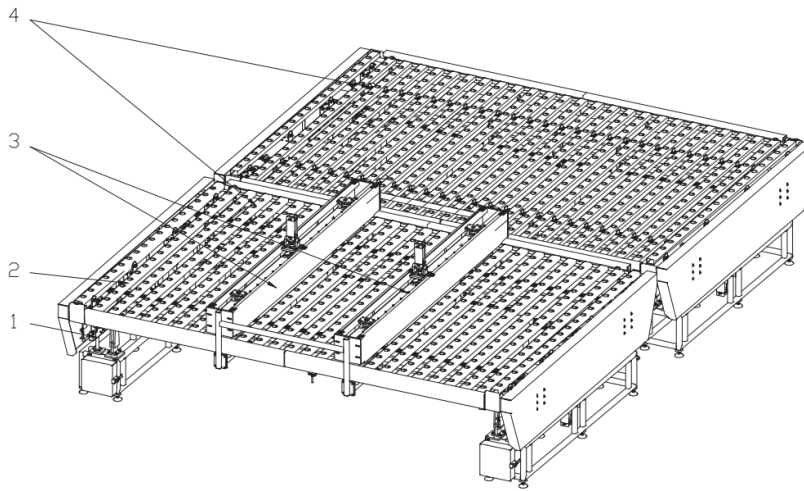


*Nota.* Tomado de *LabView PID* [Imagen], (Adhau et al, 2017).

Por otro lado, se han diseñado también sistemas hidropónicos automatizados alternativos, como la horticultura protegida, también conocida como horticultura bajo invernadero. Se trata de un método eficiente para producir alimentos de alta calidad. Este sector está en constante crecimiento en Asia y África, especialmente en China, que cuenta con la mayor área de producción de hortalizas bajo invernadero. Aunque actualmente en China se cultivan estas hortalizas en suelo, el uso constante de fertilizantes y pesticidas ha llevado a la contaminación del suelo y la disminución de la calidad de los productos agrícolas. Por esta razón, se está buscando implementar sistemas hidropónicos que sean más eficientes y amigables con el medio ambiente. A pesar de que se han desarrollado varios sistemas automáticos para la producción hidropónica, no se ha reportado un sistema automático circular para la producción móvil de cultivos. En los últimos años se han propuesto diseños automatizados para la producción hidropónica de hortalizas de hoja con la técnica de película de nutrientes, que incluye el transporte longitudinal y transversal de los tubos de plantación y dispositivos de ajuste de inclinación crítico en los sistemas automáticos. Se espera que estos nuevos sistemas ayuden a mejorar la producción de hortalizas de manera sostenible y eficiente. Ejemplo de la estructura básica de este tipo de sistemas se visualiza en la Figura 3 (Liu et al, 2020).

### Figura 3

#### Diagrama de estructura del sistema hidropónico automatizado



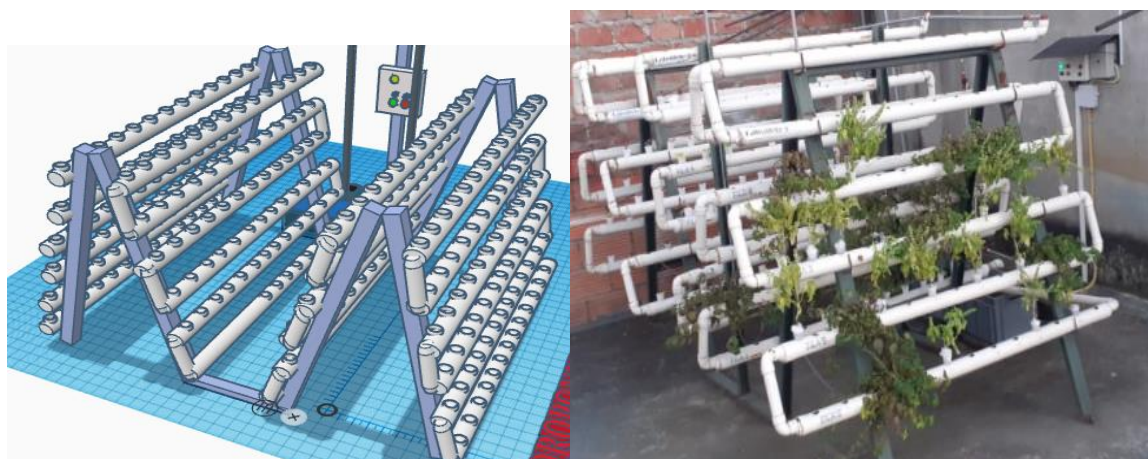
*Nota.* 1. Mecanismos de transporte transversal; 2. Tubos de plantación; 3. Mecanismos de limpieza y esterilización; 4. Mecanismos de transporte longitudinal. Tomado de *Structure diagram of automated hydroponic system* [Imagen], (Liu y otros, 2020).

### 2.3 Sensores y controladores para monitoreo de variables climáticas y nutricionales en cultivos hidropónicos.

Los sensores y controladores son herramientas esenciales para monitorear y controlar las variables climáticas y nutricionales en los cultivos hidropónicos. El proyecto se inició en el mes de Julio del 2021, luego de una investigación bibliográfica se seleccionó al controlador lógico programable PLC como el cerebro de todo el Sistema debido a sus características de régimen de trabajo, confiabilidad y precisión. En el proyecto se analizó variables como es el caudal, temperatura del agua y del ambiente, así como luminosidad idóneos para el cultivo de plantas aromáticas como acuáticas, obteniendo excelentes resultados y determinando un crecimiento muy asombroso de las mismas. Lo novedoso del sistema es que incorpora eficiencia energética al contar con temporizadores semanales que lo diferencian significativamente de los sistemas ya existentes consolidándolo como un proyecto innovador y que precisa una posible solución al problema de la falta de alimentos no procesados en las grandes ciudades. A continuación, un esquema del proyecto terminado.

**Figura 4**

*Diseño terminado del sistema hidropónico construido para el ISTS*



Nota: Sistema terminado e instalado en el ISTS -Loja.

Es importante mencionar que el sistema cuenta con un importante rubro de tecnología como lo son controladores y sensores los cuales se detalla a continuación:

**Tabla 2**

*Ilustración básica de los sensores utilizados en el sistema hidropónico construido*

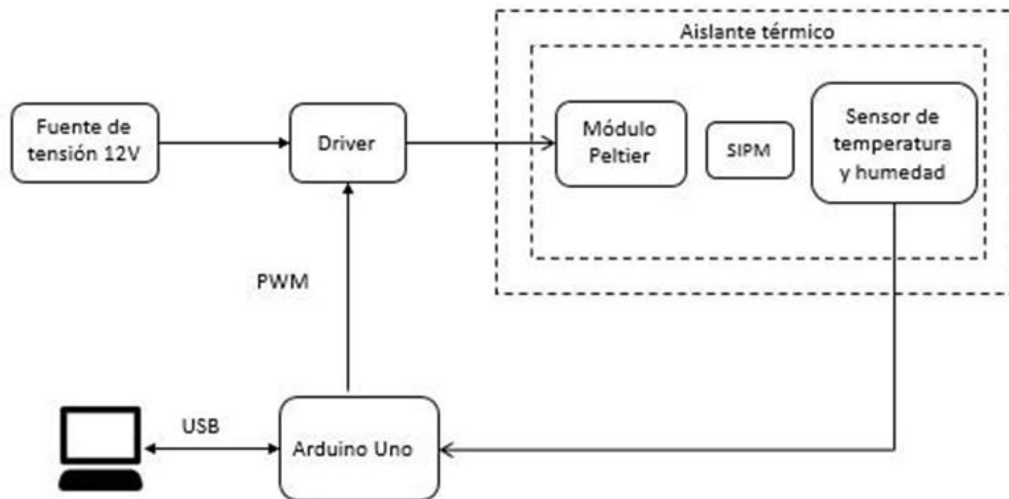
Sensor/Microcontrolador	Descripción	Variabes Medidas
Sensor de Temperatura DTH22	Mide la temperatura del ambiente o del agua en el sistema hidropónico	Temperatura ambiente, temperatura del agua
Sensor de Humedad DTH22	Mide el nivel de humedad relativa en el ambiente o en el sustrato de cultivo	Humedad relativa, humedad del sustrato
Sensor de pH PH-4502C	Mide el nivel de acidez o alcalinidad del agua en el sistema hidropónico	Nivel de pH del agua
Sensor de Conductividad EC-10	Mide la conductividad eléctrica del agua, indicando la concentración de nutrientes disueltos	Conductividad eléctrica del agua
Sensor de Luz TSL2561	Mide la intensidad de luz en el ambiente de cultivo	Intensidad de luz
Controlador lógico programable PLC LOGO siemens modelo 8	Dispositivo que recopila y procesa datos de los sensores, y controla el sistema hidropónico	Datalogger

Nota. En la tabla se socializa los sensores comerciales, su descripción y el porqué de su utilización para el sistema hidropónico propuesto.

El sistema hidropónico presenta un diseño modular donde cada etapa es crucial para el funcionamiento y la concertación de los objetivos perseguidos, para ofrecer al lector una idea más cercana se socializa el siguiente diagrama de bloques

**Figura 5**

*Diagrama de bloques de un equipo medidor de variables atmosféricas*



*Nota.* La imagen indica el diagrama de bloques del proceso de medición de variables tales como: temperatura, humedad, PH, etc. Tomado de:

<https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/208300-Sensores-de-bajo-coste-aplicados-al-control-de-los-cultivos.html>

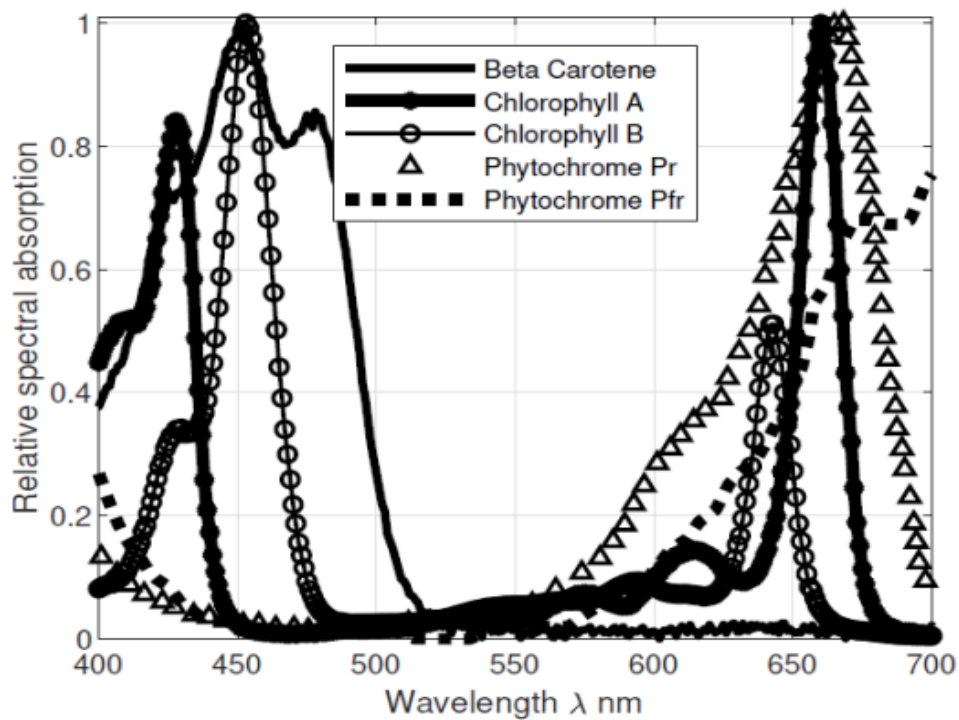
## **2.4. Iluminación artificial para cultivos hidropónicos: tecnologías y aplicaciones.**

La vida en la Tierra depende de la fotosíntesis, proceso en el que las plantas utilizan la luz incidente como fuente de energía. La respuesta espectral relativa de algunos pigmentos fotosintéticos importantes en la región fotosintéticamente activa del espectro visible se muestra en la Figura 6, en donde la sensibilidad fotosintética de las plantas  $P(\lambda)$  es una función de la longitud de onda incidente. Para lograr una alta fotosíntesis y eficiencia energética, las distribuciones de potencia radiométrica, conocidas como "distribución espectral de potencia" (SPD), de la luz irradiada deben coincidir con la curva de sensibilidad de las plantas  $P(\lambda)$ . La iluminación LED ha permitido la horticultura y la agricultura en un ambiente controlado, y los LEDs con características espectrales ajustables, tamaño pequeño, larga vida útil y eficiencia energética están reemplazando los sistemas de iluminación tradicionales en invernaderos. Las

características espectrales a medida se pueden obtener mezclando SPD de LEDs con diferentes longitudes de onda dominantes y alimentándolos de forma independiente. La eficacia de fotones mide la eficiencia del sistema de iluminación de horticultura en la conversión de energía eléctrica en fotones en la región PAR, medida en micromoles por julio. Cuanto mayor sea la eficacia de fotones, más eficiente será un sistema de iluminación en la conversión de energía eléctrica en fotones de PAR (Shailesh, 2019).

**Figura 6**

*Respuesta espectral relativa de algunos pigmentos fotosintéticos clave en plantas*



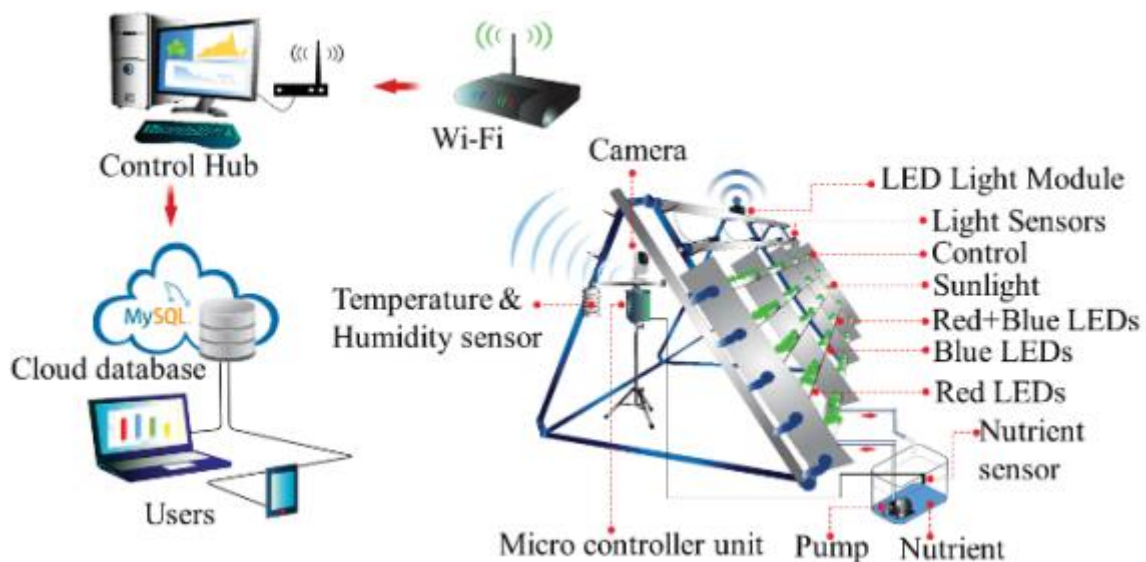
*Nota.* Tomado de *Relative spectral response of some key photosynthetic pigments in plants* [Imagen], (Shailesh, 2019).

Para implementar iluminación artificial en sistemas hidropónicos se han propuesto sistemas de segmentos de crecimiento separados, como el que se visualiza en la Figura 7. En dicho sistema, se hace uso de elementos como la nube, el internet de las cosas, la utilización de sensores de temperatura y humedad, monitoreo e iluminación artificial. Los primeros tres segmentos están iluminados con LED rojos profundos (640-660nm), LED azules profundos (440-450nm) y una combinación de ambos LED con una proporción de (1:1), respectivamente. La cuarta sección utiliza únicamente la radiación solar como fuente de luz. Se utilizaron LED de alta potencia de 3W con una vida útil de unos 5 años, colocados en un disipador de calor de

aluminio de 20 mm. Se conectaron a un controlador de corriente eléctrica constante de 600 mA. Los tratamientos de iluminación complementaria se realizaron durante 16 horas al día, comenzando a las 4 a.m. y terminando a las 8 p.m. Los LED se colocaron a 25 cm por encima de las tuberías de PVC donde crecen las plantas (Shailesh, 2019).

**Figura 7**

*Esquemático de sistema hidropónico IoT con iluminación artificial*



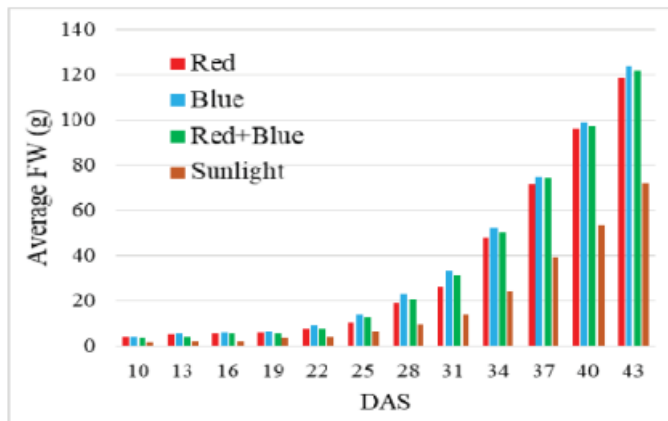
*Nota.* Tomado de *Schematic of IoT architecture in hydroponic system* [Imagen], (Shailesh, 2019).

En orden de exponer los resultados de la implementación del sistema señalado, se muestra la Figura 8 en donde se representa la medida promedio de peso de las plantas al momento de cultivarlas bajo diferentes tratamientos de luz. Las plantas tratadas con luz suplementaria azul acumularon mayor peso de cultivo en comparación con otras fuentes de luz. El peso de las plantas cultivadas bajo luz azul, rojo+azul y rojo fue un 71,5 %, un 69,1 % y un 64,9 % respectivamente mayor que las plantas bajo luz solar. La luz LED suplementaria también afectó la acumulación de peso en seco. La Figura 8 por su parte muestra el resultado del peso de las plantas en seco bajo diferentes tratamientos de luz. La acumulación promedio del peso en seco de las plantas tratadas con luz azul fue un 139,2 % mayor que las plantas cultivadas bajo luz solar. De manera similar, el peso en seco promedio de las plantas tratadas con luz rojo+azul y rojo fue un 112,2 % y un 51,5 % respectivamente mayor que las plantas cultivadas bajo luz solar. Las plantas con mayor área foliar tuvieron una mayor exposición de

las hojas a la intercepción de fotones lo que permitió una mejor acumulación de biomasa. La luz azul previene la pérdida de energía a través del proceso de fotorrespiración y estimula la fotosíntesis con la regulación de la apertura estomática para una máxima absorción de CO<sub>2</sub>.

**Figura 8**

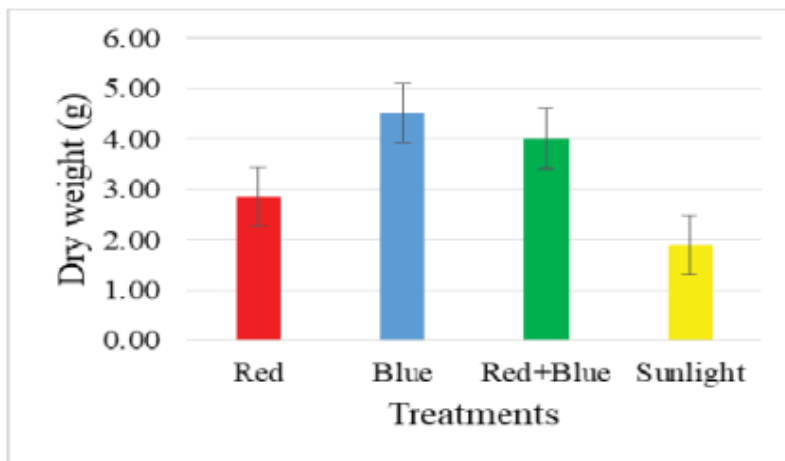
*Peso promedio de los cultivos frescos bajo diferentes tratamientos lumínicos.*



*Nota.* Tomado de *Average fresh weight of plants under different treatments* [Imagen], (Shailesh, 2019).

**Figura 9**

*Peso promedio de los cultivos en seco bajo diferentes tratamientos lumínicos.*



*Nota.* Tomado de *Average dry weight of plants under different treatments* [Imagen], (Shailesh, 2019).



**Tabla 3***Parámetros de iluminación artificial en cultivos hidropónicos*

<b>Parámetro de iluminación artificial</b>	<b>Descripción</b>
Fotosíntesis y Sensibilidad Fotosintética	La fotosíntesis es un proceso crucial para la vida en la Tierra, donde las plantas utilizan la luz incidente como fuente de energía. La respuesta espectral relativa de pigmentos fotosintéticos muestra que la sensibilidad fotosintética de las plantas $P(\lambda)$ es una función de la longitud de onda incidente.
Distribución Espectral de Potencia (SPD)	La eficiencia de la fotosíntesis y la eficiencia energética dependen de la distribución espectral de potencia (SPD) de la luz irradiada, que debe coincidir con la curva de sensibilidad de las plantas $P(\lambda)$ . La iluminación LED ha permitido la horticultura y la agricultura en ambientes controlados, y se utilizan LEDs con características ajustables y eficientes para reemplazar los sistemas tradicionales de iluminación en invernaderos.
Implementación de Iluminación Artificial	Para sistemas hidropónicos, se ha propuesto el uso de sistemas de segmentos de crecimiento separados, que incluyen iluminación artificial con LED de diferentes longitudes de onda. Los segmentos pueden estar iluminados con LED rojos profundos, LED azules profundos y una combinación de ambos en una proporción 1:1, mientras que la cuarta sección utiliza radiación solar.
Resultados y Efectos de la Iluminación	Los resultados de la implementación muestran que las plantas tratadas con luz suplementaria azul acumularon mayor peso de cultivo en comparación con otras fuentes de luz. La luz LED suplementaria también afectó la acumulación de peso en seco, siendo mayor para las plantas tratadas con luz azul, rojo+azul y rojo que las plantas bajo luz solar. Las plantas con mayor área foliar tuvieron una mayor acumulación de biomasa.

*Nota.* Se muestra un resumen de los parámetros importantes de la iluminación artificial.

## **2.5. Nutrición mineral en cultivos hidropónicos: formulaciones y aplicaciones prácticas.**

La nutrición mineral en la hidroponía juega un papel crucial en el éxito de los sistemas de cultivo sin suelo. En este método, los nutrientes minerales esenciales se disuelven en agua para ser absorbidos por las plantas. La formulación precisa de la solución nutritiva y su cuidadoso manejo son fundamentales para garantizar una producción óptima de los cultivos. Además, una nutrición mineral adecuada en la hidroponía puede no solo mejorar la calidad de los cultivos, sino también incrementar su rentabilidad (Allen, 2006).

Teniendo en cuenta que el cultivo implementado en el sistema construido fue lechuga, en primera instancia se utilizó una sustancia concentrada líquida equilibrada con

macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y con micronutrientes (calcio, magnesio, hierro y zinc) con la finalidad de optimizar su crecimiento la cual fue adquirida de un fabricante reconocido. Por otro lado, también se experimentó con nutriente en base a ingredientes caseros (cáscara de huevo pulverizado, nitrato de calcio, nitrato de calcio y sales minerales), donde por facilidad de dosificación y resultados de crecimiento se evidenció que tienen una gran ventaja los nutrientes comerciales.

### Figura 10

*Nutrientes para el proceso de hidroponía*



*Nota.* Tomado de: <https://www.hidroponiacasera.net/guia-basica-de-nutrientes-para-hidroponia/>, (Martín, 2015).

### Tabla 4

*Breve análisis de los nutrientes comerciales frente a los nutrientes caseros en cultivo hidropónico de lechuga*

Aspecto	Nutriente Comercial	Nutriente Casero
Equilibrio nutricional	Alto	Variable
Facilidad de uso	Alto	Medio
Resultados predecibles	Alto	Medio
Costo	Medio/Alto	Bajo
Ingredientes naturales	Variable	Sí
Disponibilidad y conveniencia	Alto	Medio

*Nota.* Se socializa un análisis básico de los nutrientes utilizados.

### **2.5.1 Formulación de nutrientes para cultivos hidropónicos: consideraciones clave para lograr una nutrición óptima de las plantas.**

A continuación, se presenta una formulación básica para un nutriente idóneo en un cultivo de lechuga mediante hidroponía, teniendo en cuenta las consideraciones clave mencionadas anteriormente:

Macronutrientes:

- Nitrógeno (N): 150-200 ppm
- Fósforo (P): 50-80 ppm
- Potasio (K): 200-250 ppm

Micronutrientes:

- Calcio (Ca): 100-200 ppm
- Magnesio (Mg): 50-100 ppm
- Hierro (Fe): 2-5 ppm
- Zinc (Zn): 0.5-2 ppm
- Manganeso (Mn): 0.5-2 ppm
- Cobre (Cu): 0.1-0.5 ppm
- Boro (B): 0.5-2 ppm
- Molibdeno (Mo): 0.05-0.1 ppm

Estas concentraciones son solo una guía general y pueden variar según las necesidades específicas de tu cultivo de lechuga y las características de tu agua de riego. Es recomendable realizar análisis de agua y análisis foliares periódicos para ajustar las concentraciones de nutrientes según los requerimientos de las plantas. En cuanto a la formulación del nutriente casero, la receta básica que mencioné anteriormente puede ser utilizada como punto de partida, pero es importante tener en cuenta que los nutrientes caseros pueden ser más difíciles de ajustar para lograr un equilibrio nutricional óptimo. Además, la calidad y disponibilidad de los ingredientes caseros pueden variar, lo que puede afectar la efectividad del nutriente.

**Tabla 5***Nutrientes para el cultivo hidropónico de lechuga.*

Nutriente	Función	Fuentes Comunes	Cantidad Recomendada
Nitrógeno	Promueve el crecimiento vegetal y la producción de proteínas	Nitrato de amonio, nitrato de calcio	150-200 ppm
Fósforo	Estimula el desarrollo de raíces y la floración	Fosfato monoamónico, fosfato de potasio	25-50 ppm
Potasio	Mejora la resistencia a enfermedades y el rendimiento general	Nitrato de potasio, sulfato de potasio	150-250 ppm
Calcio	Fortalece las paredes celulares y previene trastornos nutricionales	Nitrato de calcio, sulfato de calcio	150-200 ppm
Magnesio	Componente esencial de la clorofila y ayuda en la fotosíntesis	Sulfato de magnesio, quelato de magnesio	50-100 ppm
Micronutrientes	Contribuyen al metabolismo y funcionamiento adecuado de las plantas	Quelatos de hierro, zinc, cobre, molibdeno	Variado según nutriente

*Nota.* En esta tabla se da a conocer los nutrientes y la cantidad exacta para un cultivo hidropónico de lechuga

### **2.5.2 Aplicaciones prácticas de la nutrición mineral en la producción hidropónica de hortalizas de alta calidad.**

La nutrición mineral es un aspecto fundamental en la producción hidropónica de hortalizas de alta calidad. Según Guo et al. (2021), la implementación de un programa nutricional adecuado puede mejorar la calidad y cantidad de la producción de hortalizas, así como la eficiencia del uso de los nutrientes. En este sentido, es importante conocer las necesidades nutricionales específicas de cada tipo de hortaliza para poder diseñar un programa nutricional efectivo.

Para la producción hidropónica de hortalizas, es común utilizar soluciones nutritivas de dos partes, tal y como se mencionó anteriormente. Por ejemplo, en el cultivo de tomates hidropónicos, se puede utilizar una solución nutritiva que contenga nitrato de calcio, sulfato de magnesio, fosfato mono potásico y otros nutrientes en proporciones específicas (Chen et al., 2021). Asimismo, en el cultivo hidropónico de lechugas, se puede utilizar una solución nutritiva que contenga nitrato de calcio, sulfato de potasio, fosfato mono potásico y otros nutrientes. (Kim et al., 2020). En la siguiente imagen se puede evidenciar los resultados de una adecuada nutrición mineral de cultivo de lechugas en un sistema hidropónico.

### **Figura 11**

*Cultivo de lechugas hidroponía de cultivo flotante*



*Nota.* Cultivo hidropónico flotante de lechuga mediante técnica de cultivo mixto. Tomado de (Rueda et al, 2021).

### **2.5.3 Gestión de nutrientes en cultivos hidropónicos: monitoreo y ajuste de la solución nutritiva.**

La gestión adecuada de nutrientes es fundamental para el éxito de los cultivos hidropónicos. Un factor clave en la gestión de nutrientes es el monitoreo y ajuste de la solución nutritiva. Según Álvarez-Pérez et al. (2021), el monitoreo regular de la solución nutritiva es esencial para identificar desequilibrios nutricionales y realizar los ajustes necesarios para garantizar una nutrición óptima de las plantas.

Existen diversas técnicas para el monitoreo de la solución nutritiva en cultivos hidropónicos, como el análisis de la conductividad eléctrica, el pH y la concentración de nutrientes específicos. Por ejemplo, según González-Valdez et al. (2021), la conductividad eléctrica puede ser utilizada para determinar la concentración total de sales en la solución nutritiva, lo que permite identificar la necesidad de ajustes en la concentración de nutrientes.

Una vez identificados los desequilibrios nutricionales, es importante realizar los ajustes necesarios en la solución nutritiva. En este sentido, se pueden utilizar soluciones nutritivas de una sola parte o de dos partes para ajustar la concentración de nutrientes específicos. Además, según Kell et al. (2021), es importante considerar la calidad del agua utilizada en la preparación de la solución nutritiva, ya que la presencia de sales, metales pesados u otros contaminantes pueden afectar la absorción de nutrientes por las plantas.

### **2.5.4 Innovaciones recientes en la nutrición mineral de cultivos hidropónicos: avances en la optimización de la absorción de nutrientes por las plantas.**

En los últimos años, se han realizado importantes avances en la nutrición mineral de cultivos hidropónicos, con el objetivo de optimizar la absorción de nutrientes por las plantas. Una de las innovaciones recientes más destacadas es la utilización de bioestimulantes en la solución nutritiva. Según Pérez-Alfocea et al. (2021), los bioestimulantes pueden mejorar la absorción de nutrientes por las plantas al mejorar la calidad de las raíces y estimular la actividad microbiana en el sustrato.

Otra innovación reciente en la nutrición mineral de cultivos hidropónicos es el uso de nanopartículas como vehículos de entrega de nutrientes. Según Wang et al. (2021), las

nanopartículas pueden mejorar la absorción de nutrientes por las plantas al protegerlos de la degradación en la solución nutritiva y permitir una liberación controlada de los mismos.

## Figura 12

*Tipo de terrenos y absorción de nutrientes.*



*Nota.* Tomado de: “La absorción de nutrientes suelo características químicas”, (infoagro,2023).

Asimismo, se han desarrollado nuevas estrategias para la optimización de la absorción de nutrientes por las plantas en cultivos hidropónicos. Por ejemplo, según Ito et al. (2021), la combinación de diferentes tipos de nutrientes en la solución nutritiva puede mejorar la absorción de nutrientes por las plantas al estimular la expresión de genes involucrados en la absorción de nutrientes. Finalmente, es importante destacar la importancia de la utilización de sensores de nutrientes en la solución nutritiva para optimizar la absorción de nutrientes por las plantas.

Según García-Gómez et al. (2021), los sensores de nutrientes pueden proporcionar información en tiempo real sobre la concentración de nutrientes en la solución nutritiva, lo que permite realizar ajustes precisos en la concentración de nutrientes. En pocas palabras las innovaciones recientes en la nutrición mineral de cultivos hidropónicos han permitido importantes avances en la optimización de la absorción de nutrientes por las plantas. La utilización de bioestimulantes, nanopartículas y la combinación de diferentes tipos de nutrientes en la solución nutritiva, así como el uso de sensores de nutrientes, son algunas de las estrategias más destacadas en este campo.

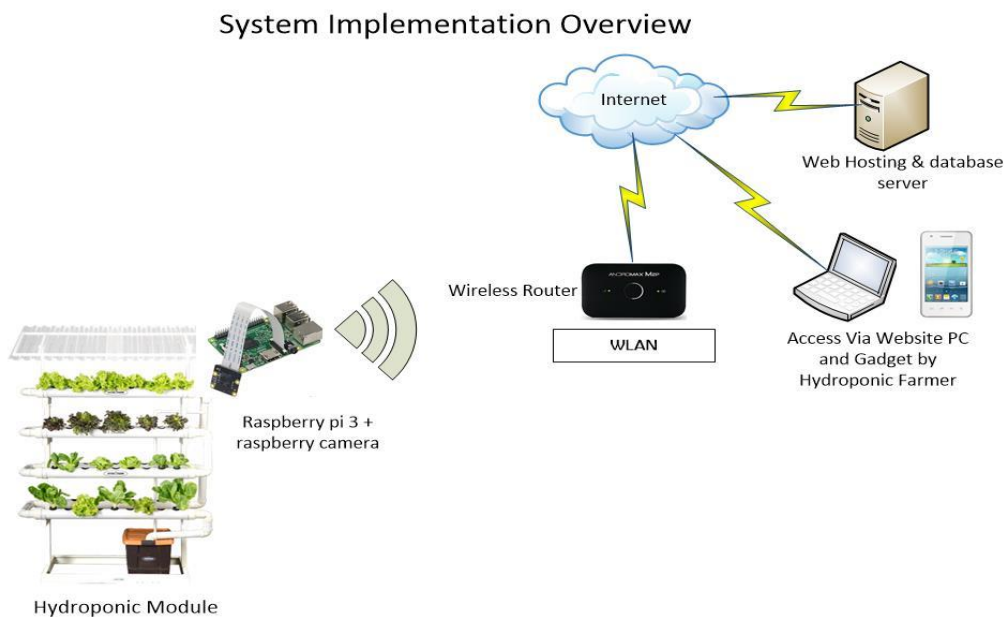
## 2.6. Uso de tecnologías de procesamiento de imágenes para monitoreo del crecimiento de las plantas en cultivos hidropónicos.

Actualmente, la cantidad de tierra agrícola disponible es cada vez más reducida debido al uso residencial e industrial. Sin embargo, la demanda de productos agrícolas ha aumentado junto con el nivel de bienestar de la población. Para solucionar estos problemas, se utilizan técnicas hidropónicas que permiten cultivar sin utilizar suelo, sino agua con nutrientes. Sin embargo, en estas técnicas se presenta el problema de ajustar los niveles de nutrientes según la edad de la planta para mejorar la calidad del cultivo. Para resolver esto, se han propuesto métodos que involucran el procesamiento de imágenes digitales para identificar la edad de la planta y ajustar los nutrientes adecuadamente.

Cada método de procesamiento de imagen para medir la longitud de las hojas de las plantas utiliza diferentes filtros de color y operaciones morfológicas para eliminar el ruido residual y calcular el área de las hojas. Sin embargo, algunos de estos métodos sólo son aplicables a entornos homogéneos y destructivos. Una de las propuestas se muestra en la Figura 13.

### Figura 13

*Sistema de identificación de edad de las plantas*



*Nota.* Tomado de *System Implementation Overview* [Imagen], (Nursyhaid y otros, 2017).



Este sistema de identificación de edad de plantas de cultivo hidropónico se compone de un módulo de adquisición y procesamiento de imágenes, un módulo hidropónico NFT, puntos de acceso WLAN, una página web, una base de datos, y una computadora o dispositivo móvil para acceder a la información. La configuración se muestra en la Figura 13 y consta de una Raspberry Pi 3 y una cámara, colocadas en un invernadero hidropónico NFT a 130 centímetros de altura. Los resultados del procesamiento de imágenes se suben a un servidor web y están disponibles para los usuarios a través de una página web. Algunas de las características de este sistema se describen a continuación (Nursyhaid y otros, 2017).

**Tabla 6**

*Características del sistema de identificación de edad de plantas de cultivo hidropónico*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Adquisición de Imágenes RGB	Las imágenes de las plantas de lechuga son adquiridas por una cámara en formato JPEG y en el espacio de color RGB. Se coloca una referencia de papel alrededor de la planta para el proceso de adquisición.
Enmascaramiento de la planta objeto	Se utiliza una máscara para seleccionar y observar solo a través de un círculo que rodea a las lechugas. Se determina manualmente la ubicación adecuada para el centro de dicho círculo.
Enmascaramiento Negro	La zona no seleccionada es una máscara negra, y las áreas negras de la máscara no serán procesadas.
Conversión del Espacio de Color RGB a HSV	Se realiza una conversión de color de RGB a HSV para facilitar la segmentación del color dominante de las hojas verdes utilizando una ecuación específica.
Segmentación de Imagen del Área de la Hoja (Filtros Verdes en el Espacio de Color HSV)	Se realiza una segmentación utilizando la técnica de umbral del área verde en el espacio de color HSV para mostrar el objeto en forma de área de hoja.
Conversión de Objetos a Desenfoque Gaussiano HSV	Se realiza una operación morfológica con desenfoque gaussiano para reducir el ruido en la imagen y producir una imagen binaria.
Reducción de ruido	Se mejora la calidad de los datos de imagen mediante técnicas de erosión y dilatación, realizando la dilatación 6 veces para devolver la forma de área de las hojas a su estado original.
Recuento de píxeles	Se realiza el cálculo del número de píxeles del área de la hoja en formato binario después de obtener una forma perfecta del área de la hoja.
Promedio diario de píxeles	Se requieren 3 mediciones para determinar los datos de crecimiento diario de píxeles y se utiliza una ecuación específica para el cálculo.
Determinación de la Categoría de Edad	Se calcula el número de píxeles para determinar la categoría de edad utilizando categorías estándar basadas en la observación de los píxeles durante 3 mediciones desde la siembra hasta la cosecha.
Cálculo del Área de la Hoja	Se muestra la segmentación de la referencia en papel utilizada para calibrar el área medida en el área de la hoja, expresándose el área real de la hoja mediante una ecuación específica.

*Nota.* Se detallan las características del sistema de identificación de edad de las plantas.

También, a su vez, se ha llevado a cabo investigación relacionada con la determinación de indicadores computacionales que permitan analizar la productividad de un cultivo hidropónico. Dentro de esta rama se han propuesto métodos para discriminar la productividad de un cultivo mediante procesamiento de imagen; haciendo trabajo de identificación y clasificación de los píxeles de las imágenes obtenidas, utilizando redes neuronales. Para este propósito se realizan generalmente recorridos completos de las imágenes para identificar las plantas objetivas. El índice computacional puede componerse de varios criterios, pero existen dos esenciales: la identificación de píxeles válidos a través de clasificación binaria, y un procesamiento para la confirmación y rectificación de predicciones en cada píxel. Al sumar finalmente los píxeles válidos se puede estimar si el cálculo corresponde o no al objetivo deseado. La red neuronal entrenada es supervisada y discrimina patrones en relación a los valores RGB de la imagen. Luego de predecir los resultados, se realiza el post procesamiento para detectar adecuadamente los ejes de cada pixel, realizando un análisis de píxeles conjuntos de cada vez más y más elementos. Finalmente, para determinar la productividad del cultivo se calcula la cantidad de píxeles correspondientes al objetivo ideal, con una tasa de error determinada y con un margen adecuado de diferencia posible. En forma de ecuación se puede resumir como la relación entre la cantidad encontrada de píxeles válidos y la cantidad total de píxeles que se obtuvieron de la imagen. Al realizar esta comparativa, el parámetro obtenido indica proporcionalmente la cantidad de tomates producidos en la parcela, permitiendo obtener su productividad cuantitativa. La ecuación de obtención del índice de productividad se visualiza en la Figura 14 (Palacios y otros, 2019).

#### **Figura 14**

*Fórmula de obtención de índice de productividad de cultivos hidropónicos basado en procesamiento de imágenes*

$$IP = \frac{\sum px \text{ válidos}}{\sum px \text{ totales}}$$

*Nota.* Tomado de *Parámetro de productividad cuantitativa [Imagen]*, (Palacios y otros, 2019).

## **2.7 Uso de tecnologías de inteligencia artificial en la hidroponía: aplicaciones y perspectivas futuras.**

La hidroponía es un método de cultivo sin suelo que utiliza una solución nutritiva para el crecimiento de las plantas. En los últimos años, la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la hidroponía ha aumentado significativamente. La IA puede mejorar el rendimiento de los cultivos, reducir los costos y aumentar la eficiencia del uso del agua. En este artículo, se discutirán las aplicaciones de la IA en la hidroponía y las perspectivas futuras de su uso.

En primer lugar, la IA puede ayudar a mejorar el rendimiento de los cultivos hidropónicos mediante el análisis de datos y la identificación de patrones. Las redes neuronales artificiales pueden analizar grandes conjuntos de datos y proporcionar información valiosa sobre las necesidades de nutrientes y agua de las plantas. Además, los algoritmos de aprendizaje automático pueden identificar patrones en los datos, lo que permite a los cultivadores hidropónicos ajustar los niveles de nutrientes y luz para maximizar el rendimiento de los cultivos.

En segundo lugar, la IA puede ayudar a reducir los costos de la hidroponía al identificar la cantidad óptima de nutrientes y agua necesarios para el crecimiento de las plantas. Al usar la IA para monitorear y controlar el sistema de hidroponía, los cultivadores pueden reducir el desperdicio de nutrientes y agua, lo que resulta en una disminución de los costos.

En tercer lugar, la IA puede aumentar la eficiencia del uso del agua en la hidroponía al permitir que los cultivadores monitoreen y ajusten el sistema de riego de manera precisa. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden analizar la humedad del sustrato y la temperatura del aire para determinar la cantidad óptima de agua necesaria para el crecimiento de las plantas. Esto puede ayudar a reducir el uso de agua y mejorar la sostenibilidad del cultivo hidropónico.

En cuarto lugar, la IA puede ayudar a mejorar la calidad de los cultivos hidropónicos mediante la detección temprana de enfermedades y plagas. Los sistemas de inteligencia artificial pueden analizar las imágenes de las hojas de las plantas para detectar patrones que indiquen la presencia de enfermedades o plagas. Esto permite a los cultivadores hidropónicos tomar medidas preventivas antes de que se produzca una infestación completa.

### 2.7.1 inteligencia artificial en la hidroponía como alternativa para la seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria es una preocupación global importante. Con la creciente población mundial, se necesita aumentar la producción de alimentos de manera sostenible y eficiente. La hidroponía es una técnica de cultivo sin suelo que utiliza soluciones nutritivas para cultivar plantas en ambientes controlados. La aplicación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la hidroponía puede mejorar la seguridad alimentaria al garantizar la producción de cultivos saludables y libres de contaminantes. En este artículo, se discutirán las aplicaciones de la IA en la hidroponía para la seguridad alimentaria.

#### Figura 15

*Plantas en el sistema hidropónico.*



*Nota.* Tomado de: <https://ecosiglos.com/pasos-sencillos-para-iniciar-tu-propio-cultivo-hidroponico> (Castro, 2018).

En primer lugar, la IA puede detectar rápidamente la presencia de contaminantes en el agua y los nutrientes utilizados en la hidroponía. Los sistemas de monitoreo basados en la IA pueden analizar grandes conjuntos de datos y detectar la presencia de contaminantes, pesticidas y otros químicos dañinos. Esto permite a los cultivadores hidropónicos tomar medidas inmediatas para remediar el problema y garantizar la seguridad de los cultivos.

En segundo lugar, la IA puede ayudar a prevenir la propagación de enfermedades en los cultivos hidropónicos. Los sistemas de inteligencia artificial pueden analizar las imágenes de las hojas de las plantas para detectar patrones que indiquen la presencia de enfermedades o plagas. Esto permite a los cultivadores hidropónicos tomar medidas preventivas antes de que se produzca una infestación completa, lo que reduce la necesidad de utilizar pesticidas y otros productos químicos dañinos.

La IA puede mejorar la eficiencia del uso del agua en la hidroponía al permitir que los cultivadores monitoreen y ajusten el sistema de riego de manera precisa. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden analizar la humedad del sustrato y la temperatura del aire para determinar la cantidad óptima de agua necesaria para el crecimiento de las plantas. Esto puede ayudar a reducir el uso de agua y mejorar la sostenibilidad del cultivo hidropónico.

Finalmente, la IA puede mejorar la calidad de los cultivos hidropónicos al garantizar la presencia de los nutrientes adecuados en la solución nutritiva. Los sistemas de inteligencia artificial pueden analizar los niveles de nutrientes en la solución y proporcionar información valiosa sobre las necesidades de nutrientes de las plantas. Esto permite a los cultivadores hidropónicos ajustar los niveles de nutrientes para maximizar el rendimiento y la calidad de los cultivos.

### **2.7.2 Importancia del monitoreo de variables climáticas y nutricionales en los cultivos hidropónicos**

Los cultivos hidropónicos son una técnica de producción de alimentos que se realiza en un ambiente controlado, donde las plantas crecen en un sustrato inerte y se alimentan de una solución nutritiva que se suministra directamente a las raíces. Para asegurar una producción eficiente y de alta calidad, es importante realizar un monitoreo constante de las variables climáticas y nutricionales.

En primer lugar, el monitoreo de las variables climáticas, como la temperatura, la humedad relativa, la radiación y la velocidad del viento, es esencial para mantener un ambiente adecuado para el crecimiento de las plantas. Un desequilibrio en alguna de estas variables puede afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como aumentar la incidencia de enfermedades y plagas. Por lo tanto, es necesario contar con sensores y controladores que permitan mantener una temperatura y humedad adecuadas, así como regular la iluminación y la ventilación del ambiente de cultivo. (Lefsrud, 2017)

Por otro lado, el monitoreo de las variables nutricionales, como el pH y la concentración de nutrientes en la solución nutritiva, es crucial para garantizar un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. Si la concentración de nutrientes es demasiado baja, las plantas pueden presentar deficiencias nutricionales y, por el contrario, si es demasiado alta, se puede producir toxicidad por exceso de nutrientes. Por lo tanto, es importante realizar mediciones frecuentes de estas variables y ajustar la solución nutritiva en consecuencia.

Además, el monitoreo constante de las variables climáticas y nutricionales permite detectar rápidamente cualquier anomalía o desequilibrio en el ambiente de cultivo y tomar medidas correctivas de manera oportuna. Esto ayuda a prevenir pérdidas de producción y a maximizar la eficiencia del sistema. En pocas palabras, el monitoreo de las variables climáticas y nutricionales es esencial para asegurar una producción eficiente y de alta calidad en los cultivos hidropónicos. Los sensores y controladores permiten mantener un ambiente adecuado para el crecimiento de las plantas y ajustar la solución nutritiva en consecuencia. Además, el monitoreo constante permite detectar rápidamente cualquier anomalía y tomar medidas correctivas de manera oportuna. (Gómez-López, 2021)

### **2.7.3 Integración de datos de sensores y controladores para la toma de decisiones**

La integración de datos de sensores y controladores es una tarea fundamental en la toma de decisiones en el ámbito de la automatización industrial. En la actualidad, existe una amplia variedad de dispositivos de medición y control disponibles en el mercado, y la integración de estos dispositivos puede ser una tarea compleja. Sin embargo, la integración adecuada de los datos obtenidos de sensores y controladores puede mejorar significativamente la eficiencia y la eficacia de los procesos industriales.

La integración de datos de sensores y controladores implica la recopilación y el análisis de datos de múltiples dispositivos para tomar decisiones informadas. Los sensores se utilizan para medir variables físicas como temperatura, presión, nivel de líquidos, etc., mientras que los controladores se utilizan para automatizar los procesos y tomar decisiones basadas en los datos de los sensores. La integración de estos dispositivos permite un control más preciso y una mejor monitorización del proceso. (Li, 2020 )

## Figura 16

### Propuesta de un sistema inteligente para hidroponía



*Nota.* Propuesta de un sistema inteligente para hidroponía. Tomado de [https://www.rcs.cic.ipn.mx/2019\\_148\\_10/Propuesta%20de%20sistema%20de%20gestion%20inteligente%20basado%20en%20IoT%20para%20hidroponia.pdf](https://www.rcs.cic.ipn.mx/2019_148_10/Propuesta%20de%20sistema%20de%20gestion%20inteligente%20basado%20en%20IoT%20para%20hidroponia.pdf).

En la actualidad, existen diversas tecnologías y protocolos de comunicación que permiten la integración de datos de sensores y controladores. Uno de los protocolos más utilizados en la industria es el OPC (Open Platform Communications), que permite la comunicación entre dispositivos de diferentes fabricantes. Además, existen soluciones basadas en la nube que permiten la integración de datos de sensores y controladores de múltiples sitios, lo que facilita el análisis de datos y la toma de decisiones a nivel global.

La integración de datos de sensores y controladores también puede ser mejorada mediante la implementación de algoritmos de aprendizaje automático y análisis de datos. Estos algoritmos permiten la identificación de patrones y tendencias en los datos, lo que puede ser útil para la toma de decisiones y la optimización de procesos. (Kim, 2019)

Para entenderlo de mejor manera la integración de datos de sensores y controladores es una tarea fundamental para la automatización industrial y la toma de decisiones informadas. La implementación de tecnologías y protocolos de comunicación adecuados, así como la aplicación de técnicas de análisis de datos, pueden mejorar significativamente la eficiencia y la eficacia de los procesos industriales. Un ejemplo de la literatura anterior es el estudio realizado por Kim, Lee y Lim (2019), en el que se investigó la integración de datos de sensores y controladores en un sistema ciberfísico para la fabricación inteligente. Los autores utilizaron

un sistema de monitoreo y control en tiempo real basado en la nube para integrar los datos de los sensores y los controladores en una sola plataforma. Luego, aplicaron técnicas de análisis de datos para identificar patrones y tendencias en los datos y tomar decisiones informadas para optimizar los procesos de fabricación. Este estudio demuestra cómo la integración adecuada de datos de sensores y controladores puede mejorar la eficiencia y la eficacia de los procesos industriales.

## 2.8. Técnicas de producción de plántulas en sistemas hidropónicos.

La producción de plántulas en sistemas hidropónicos es una técnica que cada vez tiene mayor relevancia en la agricultura moderna debido a los beneficios que ofrece en términos de eficiencia en el uso del agua, ahorro de espacio, control de enfermedades y plagas, entre otros. En este subcapítulo se presentarán algunas de las técnicas más comunes para la producción de plántulas en sistemas hidropónicos. La producción de plántulas en sistemas hidropónicos requiere de una serie de técnicas específicas para garantizar el éxito en el cultivo. A continuación, se presentarán algunas de las técnicas más comunes utilizadas en la producción de plántulas en sistemas hidropónicos.

**Tabla 7**

*Principales técnicas de producción de plántulas en sistemas hidropónicos*

<b>Técnica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Referencias</b>
Siembra directa en sustratos inertes	Consiste en sembrar las semillas en pequeños bloques de sustrato inerte, como la lana de roca o la fibra de coco. Las semillas se colocan en bandejas especiales diseñadas para sistemas hidropónicos.	Resh, 2013
Bandejas flotantes	Se utilizan bandejas en las que se siembran las semillas en pequeños agujeros y se colocan en una solución nutritiva. Las raíces crecen hacia abajo y entran en contacto con la solución.	Resh, 2013; Savvas et al., 2012
Aeroponía	Las raíces de las plántulas se suspenden en el aire y se rocían con una solución nutritiva atomizada. Permite un mayor acceso al oxígeno y evita el contacto con un medio de cultivo.	Savvas et al., 2012; Suthaparan, 2020
Flujo laminar de nutrientes (NFT)	Las plántulas se colocan en canales inclinados por los que fluye la solución nutritiva en un flujo laminar constante. Las raíces están en contacto con la solución en todo momento.	Suthaparan, 2020
Sistema de raíz flotante	Las plántulas se colocan en una cámara llena de solución nutritiva, suspendiendo las raíces en el aire y manteniéndolas en contacto con la solución.	Tyson, 2018

*Nota.* La tabla es a manera de resumen de las principales técnicas de producción de plántulas en sistemas hidropónicos.



## **2.9 Consideraciones económicas en la implementación de tecnologías avanzadas en cultivos hidropónicos**

producción de alimentos en cultivos hidropónicos ha ganado popularidad en los últimos años debido a los beneficios que ofrece, tales como un mayor rendimiento, menor uso de agua y fertilizantes, y una mayor eficiencia en el uso del espacio. Sin embargo, la implementación de tecnologías avanzadas en cultivos hidropónicos puede ser costosa y puede tener un impacto significativo en el costo final de producción. Es por ello que se han desarrollado estudios para analizar las consideraciones económicas que deben tenerse en cuenta al implementar estas tecnologías. En este sentido, es importante evaluar el costo-beneficio de estas tecnologías y la rentabilidad de la inversión en el largo plazo. Además, es necesario considerar factores como el costo de los equipos, el costo de la energía, los insumos y el personal requerido para la operación de estas tecnologías. En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas en cultivos hidropónicos debe ser cuidadosamente analizada para garantizar la viabilidad económica de estos sistemas y asegurar la sostenibilidad de la producción de alimentos.

### **2.9.1 Introducción para las consideraciones económicas en hidroponía.**

La tecnología ha cambiado la forma en que se cultivan los cultivos. La hidroponía es un método de cultivo sin suelo que ha estado ganando popularidad en los últimos años. Esta técnica utiliza soluciones nutritivas en lugar de tierra para cultivar plantas. Las tecnologías avanzadas están ayudando a mejorar la eficiencia y la productividad en los cultivos hidropónicos. Sin embargo, estas tecnologías pueden ser costosas y pueden requerir una inversión inicial significativa. Por lo tanto, es importante considerar las implicaciones económicas antes de implementar estas tecnologías.

### **2.9.2 Costo de inversión para cultivos hidropónicos**

La implementación de tecnologías avanzadas en los cultivos hidropónicos puede tener un costo de inversión significativo. Estos costos pueden incluir equipos especializados, como sistemas de iluminación LED, sistemas de riego automatizados y sensores de monitoreo ambiental. Además, también se deben considerar los costos de mantenimiento y reparación de estos equipos. Es importante tener en cuenta estos costos y asegurarse de que la inversión sea rentable.

### **2.9.3 Costos de producción para cultivos hidropónicos**

Los costos de producción en los cultivos hidropónicos pueden variar según el tipo de cultivo y las condiciones ambientales. El uso de tecnologías avanzadas puede reducir los costos de producción al mejorar la eficiencia y la productividad. Por ejemplo, los sistemas de riego automatizados pueden reducir el consumo de agua, lo que puede reducir los costos de facturas de agua. Además, los sistemas de iluminación LED pueden reducir los costos de electricidad al ser más eficientes energéticamente que las luces de cultivo convencionales. (Sánchez-Velázquez, 2019)

### **2.9.4 Rentabilidad**

La rentabilidad es un factor clave a considerar en la implementación de tecnologías avanzadas en cultivos hidropónicos. Los costos de inversión y producción deben ser considerados para determinar si la implementación de estas tecnologías es rentable. Además, la demanda del mercado y el precio de venta del cultivo también deben ser considerados para determinar la rentabilidad. (Kim, 2019)

En los sistemas hidropónicos la rentabilidad se puede ilustrar a través de estudios como el realizado por Smith y Jones (Año), quienes compararon la rentabilidad de un cultivo hidropónico de lechuga con un sistema de suelo convencional. En su investigación, encontraron que el cultivo hidropónico de lechuga permitía un mejor control de los nutrientes, mayor eficiencia en el uso del agua y menor incidencia de enfermedades, lo que resultó en una producción más abundante y de mayor calidad en comparación con el sistema de suelo. Además, debido a la optimización de recursos y la reducción de desperdicios, el sistema hidropónico demostró ser más rentable, generando mayores beneficios económicos para los agricultores.

### **2.9.5 Competencia en el mercado**

La implementación de tecnologías avanzadas en cultivos hidropónicos puede mejorar la competitividad en el mercado. La mejora en la eficiencia y la productividad puede reducir los costos de producción y mejorar la calidad del producto. Esto puede ayudar a los productores a competir con otros productores en el mercado. Sin embargo, también es importante considerar el costo de la implementación de estas tecnologías en relación con la competencia en el mercado. (Sánchez-Velázquez, 2019)

### **2.9.6 Impacto ambiental**

La hidroponía es una técnica de cultivo más sostenible en comparación con la agricultura convencional. Sin embargo, la implementación de tecnologías avanzadas puede tener un impacto ambiental significativo. Por ejemplo, el uso de sistemas de iluminación LED puede generar una mayor cantidad de desechos electrónicos. Es importante considerar el impacto ambiental de estas tecnologías y trabajar para minimizar cualquier impacto negativo.

La implementación de tecnologías avanzadas en los cultivos hidropónicos puede mejorar la eficiencia y la productividad. Sin embargo, también es importante considerar las implicaciones económicas antes de implementar estas tecnologías. Los costos de inversión y producción deben ser considerados para determinar la rentabilidad y la competitividad en el mercado debe ser evaluada cuidadosamente. Además, el impacto ambiental de estas tecnologías también debe ser considerado y minimizado para asegurar un cultivo sostenible y responsable. Puede ser una opción rentable y sostenible para los productores. Sin embargo, es importante considerar cuidadosamente los costos de inversión y producción, la rentabilidad, la competitividad en el mercado y el impacto ambiental antes de implementar estas tecnologías (Gómez-López, 2021).

## 2.10. Casos de éxito en la aplicación de tecnología en la hidroponía: experiencias y lecciones aprendidas

La hidroponía es una técnica de cultivo de plantas sin suelo que ha demostrado ser efectiva para la producción de hortalizas y otras plantas en diferentes partes del mundo. La tecnología utilizada en la hidroponía ha evolucionado con el tiempo, y actualmente se están utilizando sistemas de automatización y monitoreo para mejorar la eficiencia y la productividad de los cultivos. En este subcapítulo, se presentarán algunos casos de éxito en la aplicación de tecnología en la hidroponía, y se discutirán las lecciones aprendidas y las implicaciones para el futuro de la hidroponía.

**Tabla 8**

Principales técnicas de producción de plántulas en sistemas hidropónicos

Caso	Descripción	Rendimiento	Eficiencia de recursos	Control y automatización	Referencias
Caso 1: Cultivo hidropónico de tomates en un invernadero automatizado	Cultivo hidropónico de tomates en un invernadero automatizado en Marruecos. Uso de sistemas automatizados de riego, fertilización y monitoreo.	Mayor rendimiento que el cultivo de suelo.	Reducción del consumo de agua y nutrientes.	Optimización del crecimiento y desarrollo de las plantas.	Ait Oubahou et al., 2019
Caso 2: Cultivo hidropónico de lechugas en un sistema de cultivo de raíz flotante	Cultivo hidropónico de lechugas en un sistema de raíz flotante en Arizona, Estados Unidos. Mayor rendimiento y eficiencia en el uso del agua y nutrientes. Mejor oxigenación de las raíces.	Rendimiento similar al del cultivo del suelo.	Mayor eficiencia en el uso del agua y nutrientes.	Mayor crecimiento y desarrollo de las plantas.	Kacira et al., 2011
Caso 3: Sistema hidropónico cerrado de recirculación en el cultivo de lechugas	Sistema hidropónico cerrado de recirculación en una granja en Ontario, Canadá. Mejora significativa en la calidad y rendimiento de las lechugas. Ahorro de agua y nutrientes. Reducción del riesgo de contaminación y enfermedades.	Mejora significativa en la calidad y rendimiento.	Ahorro de agua y nutrientes.	Ambiente controlado para un crecimiento óptimo.	Wu et al., 2019
Caso 4: Producción de tomates en un sistema hidropónico con	Producción de tomates en una granja hidropónica en Corea del Sur. Iluminación LED mejoró el crecimiento y	Mejor crecimiento y producción de los tomates.	Ahorro de energía.	Mayor control de la luz para un crecimiento óptimo.	Lee et al., 2019

iluminación LED	producción de los tomates. Ahorro de energía. Mayor control de la intensidad y duración de la luz.				
Caso 5: Cultivo de fresas en un sistema hidropónico vertical	Producción de fresas en un sistema hidropónico vertical en Japón. Mejora significativa en el crecimiento y producción.	Mejora significativa en el crecimiento y producción.	-	-	Kozai et al., 2016
Otros casos	Producción de plantas medicinales en hidroponía en Tailandia. Producción de lechugas y hierbas en hidroponía en Londres. Producción de espinacas en hidroponía.	Mayor rendimiento y calidad en comparación con el cultivo en suelo. Ahorro de agua y nutrientes. Producción en entornos urbanos.	Mayor rendimiento y calidad en comparación con el cultivo en suelo.	Ahorro de agua y nutrientes.	Siriwan et al., 2016; Kara, 2020; Sharma et al., 2017

*Nota.* Se resumen casos de éxito importantes sobre la aplicación de tecnologías hidropónicas.

Los casos de éxito en la hidroponía demuestran una mejora significativa en el rendimiento y calidad de los cultivos, así como una mayor eficiencia en el uso del agua y nutrientes en comparación con los cultivos en suelo. El uso de sistemas automatizados, iluminación LED y técnicas específicas de cultivo como la raíz flotante y el sistema hidropónico CRS han demostrado ser altamente beneficiosos para el éxito de los cultivos hidropónicos. También se resalta la importancia de la personalización de la solución nutritiva y la selección adecuada de variedades de plantas para obtener mejores resultados. Sin embargo, se destaca la necesidad de seguir investigando y desarrollando la tecnología hidropónica para maximizar su potencial y mejorar su sostenibilidad a largo plazo.

**CAPÍTULO 3**  
**CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO**

### **3.1. Construcción del sistema**

Beltrano y Giménez (2015) señalan que, en el ámbito del cultivo hidropónico casero, existen diversas metodologías. En este capítulo, se detallará la técnica de película nutritiva (NFT). Los materiales necesarios para llevar a cabo esta técnica son los siguientes:

1. Tubo de PVC de tres pulgadas de diámetro.
2. Una bomba aireadora de medio caballo, utilizada para garantizar la adecuada oxigenación del agua.
3. Una solución nutritiva equilibrada en nutrientes.
4. Caballetes metálicos o de madera para sostener los tubos.

Se recomienda recortar tubos de PVC a una longitud de 2 metros cada uno. En cada tubo, se practica un agujero con un taladro y una broca del diámetro adecuado, sugiriendo un tamaño de agujero de 4 cm de diámetro.

Una vez obtenidos los tubos con los agujeros respectivos, se colocan codos de 23 cm para conectar el sistema hidropónico y cumplir con sus funciones asignadas.

La siguiente fase consiste en instalar la bomba, cuya función es generar la recirculación del agua de manera laminar y tubular para favorecer la oxigenación.

Se procede a elaborar dos caballetes con el propósito de sostener el sistema hidropónico mediante correas de medición de 80 cm. Se recomienda colocar los tubos en la estructura con una distancia de 30 cm.

Un aspecto crucial es la disposición de una tina de 25 litros de agua, donde se aplicará la solución Ay B de macronutrientes y micronutrientes.

### **3.2. Iluminación en Sistemas Hidropónicos**

La iluminación es un aspecto crítico en la construcción de un sistema hidropónico casero, ya que influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La correcta selección y disposición de la iluminación en un sistema hidropónico casero es esencial para proporcionar la energía necesaria a las plantas. Se recomienda utilizar luces LED específicas para el crecimiento de plantas, ya que ofrecen eficiencia energética y la capacidad de ajustar el espectro de luz para adaptarse a las diferentes etapas de crecimiento de las plantas (Gaudreau, 2018).

La investigación de Gaudreau (2018) destaca la importancia de la calidad espectral de la luz en el crecimiento de las plantas. Además, se sugiere experimentar con diferentes

niveles de intensidad luminosa y duraciones para optimizar el rendimiento del cultivo en un entorno hidropónico.

El control del ambiente en un sistema hidropónico casero es crucial para garantizar condiciones óptimas de crecimiento para las plantas. Aquí hay información sobre este tema:

### **3.3 Control del Ambiente en un Sistema Hidropónico Casero**

#### ***3.2.1 Temperatura***

**Importancia:** La temperatura del ambiente afecta directamente la tasa de crecimiento y desarrollo de las plantas en un sistema hidropónico. Es crucial mantener una temperatura constante y adecuada para la fase específica de crecimiento de las plantas (Hanna, 2022).

**Rango Recomendado:** Por lo general, se recomienda mantener la temperatura del aire entre 18-25 °C para la mayoría de las plantas comunes en sistemas hidropónicos caseros (Beltrano & Gimenez, 2015)

#### ***3.2.2 Humedad***

**Importancia:** La humedad relativa del aire también influye en el desarrollo de las plantas. Demasiada humedad puede aumentar el riesgo de enfermedades, mientras que la falta de humedad puede afectar negativamente la transpiración de las plantas.

**Rango Recomendado:** El rango de humedad relativa recomendado varía según las plantas, pero generalmente se sitúa entre el 40% y el 60% (Parent, 2023).

#### ***3.2.3 Ventilación***

**Importancia:** La ventilación adecuada es esencial para mantener niveles óptimos de oxígeno y dióxido de carbono alrededor de las raíces de las plantas. Además, ayuda a prevenir problemas relacionados con la humedad.

**Métodos:** Se pueden utilizar ventiladores para promover la circulación del aire dentro del entorno del sistema hidropónico.

#### ***3.2.4 Control de CO<sub>2</sub>***

**Importancia:** Las plantas utilizan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el proceso de fotosíntesis. Controlar los niveles de CO<sub>2</sub> puede mejorar la eficiencia fotosintética y, por lo tanto, el crecimiento de las plantas.

**Métodos:** Puedes considerar el uso de generadores de CO<sub>2</sub> o simplemente asegurarte de que haya una ventilación adecuada para mantener niveles saludables.

#### ***3.2.5 Aislamiento***



**Importancia:** Asegurar un buen aislamiento del entorno hidropónico casero ayuda a mantener la estabilidad térmica y evita fluctuaciones no deseadas en la temperatura.

**Materiales:** Utiliza materiales aislantes al construir la estructura para mantener una temperatura interna constante (FAO, 2003).

### ***3.2.6 Sistema de Filtración de Agua en un Sistema Hidropónico Casero***

**Importancia del Filtrado:** El agua utilizada en sistemas hidropónicos debe estar libre de contaminantes, sedimentos y otros elementos indeseados que puedan afectar la salud de las plantas y obstruir los conductos del sistema.

#### **1. Tipos de Filtros:**

- a. Filtros de Sedimentos: Retienen partículas sólidas y sedimentos presentes en el agua.
- b. Filtros de Carbono Activado: Eliminan impurezas, cloro y compuestos orgánicos del agua.
- c. Filtros de Malla o Tamices: Retienen partículas más grandes que podrían obstruir el sistema.
- d. Antes de introducir el agua en el sistema hidropónico, es recomendable realizar una prefiltración para eliminar las partículas más grandes. Puedes usar un filtro de malla gruesa o un filtro de sedimentos.

**2. Pre-filtración y Post-filtración:** Se puede utilizar un filtro de sedimentos como pre-filtro para eliminar partículas grandes antes de que el agua pase por filtros más finos, como los de carbono activado.

**3. Mantenimiento Regular:** Es crucial realizar un mantenimiento regular de los filtros para asegurar su eficacia a lo largo del tiempo. Los filtros pueden obstruirse y necesitar limpieza o reemplazo periódico.

**4. Instalación:** Los filtros se colocan generalmente en la línea de suministro de agua antes de que entre en el sistema hidropónico. Esto garantiza que el agua que llega a las plantas esté limpia y libre de contaminantes (Setchell, s.f.).

### ***3.2.7 Variación en la Solución Nutritiva en un Sistema Hidropónico Casero:***

**Importancia de la Variación:** La composición de la solución nutritiva debe adaptarse a las diferentes etapas de crecimiento de las plantas. La variación en los nutrientes suministrados es crucial para satisfacer las necesidades específicas de las plantas en cada fase.

## 1. Fases de Crecimiento:

- **Fase de Crecimiento Vegetativo:** En esta etapa, las plantas necesitan una mayor proporción de nitrógeno para fomentar el crecimiento de hojas y ramas.
  - **Fase de Floración/Fructificación:** En esta etapa, se requieren proporciones más altas de fósforo y potasio para respaldar la formación de flores y frutas.
- a) **Ajuste de la Composición:** Es fundamental ajustar la composición de la solución nutritiva según las necesidades de las plantas en diferentes momentos. Esto se puede lograr mediante el uso de mezclas de nutrientes específicas o mediante el ajuste manual de los niveles de nutrientes.
  - b) **Monitoreo de pH y Conductividad Eléctrica (EC):** Se debe realizar un monitoreo regular del pH y la EC de la solución nutritiva. Estos parámetros afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas y deben ajustarse según sea necesario.
  - c) **Fuentes de Nutrientes:** La solución nutritiva puede provenir de fuentes comerciales específicas para hidroponía, y también se pueden utilizar soluciones caseras, siempre y cuando se garantice la proporción adecuada de nutrientes.
  - d) **Experimentación con Fórmulas:** Se alienta a los cultivadores a experimentar con diferentes fórmulas de solución nutritiva para determinar qué combinación funciona mejor para los tipos específicos de plantas que están cultivando.
  - e) **Ajuste en Base a Observaciones de las Plantas:** Las observaciones de las plantas, como el color de las hojas y el desarrollo general, pueden indicar deficiencias o excesos de ciertos nutrientes. Ajustar la solución nutritiva en respuesta a estas observaciones es una práctica común.

Las plantas a través de su sistema radicular obtienen oxígeno, agua y los nutrientes minerales necesarios para su normal crecimiento y desarrollo. Los nutrientes esenciales son aquellos imprescindibles para la vida del organismo vegetal y cuya función en la célula es tan específica que no pueden ser reemplazados por otros.

Los macronutrientes (Solución A) que se añaden al agua en proporciones determinadas, son: Nitrógeno, en forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ); Fósforo, en forma de fosfatos ( $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ ); Potasio, en forma  $\text{K}^+$ ; Calcio, en forma  $\text{Ca}^{++}$ ; Magnesio, en forma  $\text{Mg}^{++}$ ; Azufre, en forma de sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ).

Como micronutrientes (Solución B) se añaden: Boro, en forma mineral; Cobre, en forma quelatada; Hierro, en forma quelatada; Manganeso, en forma quelatada; Molibdeno, en forma mineral; Zinc, en forma quelatada. En el ejemplo que se expone en el documento es importante mencionar que en un hidropónico si se utiliza 50 l de agua, donde 25 l están en el cubeto plástico y 25 l recirculando en el sistema hidropónico, se debe realizar el cálculo para la aplicación de las soluciones A y B necesarias para la planta ya que por medio de ellos va haber un óptimo desarrollo.

Por cada litro de agua es necesario 5 ml de solución A y 2ml de solución B, si se utilizaron 50l de agua el total sería 250 ml de macronutrientes y 100ml de solución B necesarios y que van a circular en el sistema hidropónico. Para poder determinar si las plantas necesitan una nueva aplicación de nutrientes, se debe tener un constante monitoreo de las mismas ya que por evaporación podría haber pérdida de agua, de ser este caso se tendría que agregar más agua y nutrientes.

### ***3.2.8 Cultivo de Plantas Específicas en un Sistema Hidropónico Casero***

**a) Selección de Variedades:** Elegir plantas que se adapten bien a las condiciones de un sistema hidropónico. Muchas hierbas, vegetales de hojas verdes, fresas y algunos tipos de tomates son opciones populares para este tipo de cultivo.

El almácigo o semillero debe contener sustrato que esté formado de una parte de arena, otra de abono como compost o humus y otra parte de tierra negra, se debe evitar que se compacte para que la germinación de la semilla y el desarrollo de las raíces no se entorpezcan, para ello es importante usar un tamizador o tela de alambre para colar el sustrato, y este a la vez quede fino (INTAGRI, 2018).

INTAGRI (2018) indica que para el trasplante la planta debe tener un tamaño adecuado, recomendable cuando tengan de 3 a 4 hojas de las hojas verdaderas. Si el cultivo hidropónico va ser de lechuga se sugiere hacer el primer trasplante al décimo sexto (16) día, humedeciendo el sustrato con agua para suavizarla y poder retirar los lechuguinos con mucho cuidado, sin maltratar las raíces, enjuagamos para eliminar residuos de sustrato, este procedimiento se lo realiza con la finalidad de que se garantice el buen estado de las plántulas para poder obtener un excelente porcentaje de adaptación, en donde las plantas comenzarán el proceso de absorción de los nutrientes en el medio hidropónico para su desarrollo.

Previo al trasplante al sistema hidropónico se debe cortar la espuma de poliestireno de acuerdo al orificio del vaso de plástico, la base del vaso de plástico que contendrá la plántula deberá ser retirada con la ayuda de un cutter y se coloca plumón

Con la ayuda de una aguja de pincho se procede a realizar un agujero en el centro de la tapita de espuma de poliestireno que será por donde pase la raíz de las plántulas.

La planta debe pasar por el agujero realizado en la tapa de espuma de polietileno y la raíz debe quedar recubierta por el plumón evitando daños a la raíz hasta el inferior del vaso.

- b) Adaptación del Entorno:** Ajustar el entorno hidropónico según las necesidades específicas de las plantas seleccionadas. Esto puede incluir variaciones en la intensidad y espectro de la luz, la temperatura y la concentración de nutrientes en la solución nutritiva.
- c) Control de Factores Ambientales:** Monitorear y controlar de manera regular factores como la temperatura, humedad, iluminación y CO<sub>2</sub> para garantizar condiciones óptimas de crecimiento.
- d) Ciclos de Luz y Fotoperiodo:** Algunas plantas pueden tener requisitos específicos de fotoperiodo. Ajustar los ciclos de luz para imitar las condiciones naturales y promover etapas específicas de crecimiento y floración.
- e) Densidad de Siembra y Espaciado:** Determinar la densidad de siembra y el espaciado adecuado para cada tipo de planta. Esto asegura que las raíces tengan suficiente espacio para crecer y que las plantas no compitan entre sí por los nutrientes.
- f) Variedades Compactas:** Para sistemas hidropónicos caseros con espacio limitado, considerar el cultivo de variedades compactas o de crecimiento vertical que maximicen la eficiencia del espacio disponible.
- g) Ajustes en la Solución Nutritiva:** Personalizar la composición de la solución nutritiva según los requerimientos específicos de las plantas cultivadas. Algunas plantas pueden necesitar ajustes más finos en la concentración de nutrientes.
- h) Observación y Ajuste Continuo:** Observar el desarrollo de las plantas y ajustar el entorno y la solución nutritiva según sea necesario. La retroalimentación constante ayudará a optimizar el rendimiento.

### ***3.2.9 Documentación y Seguimiento en un Sistema Hidropónico Casero***

- a) **Registro de Parámetros:** Mantener un registro detallado de parámetros clave, como pH, EC (conductividad eléctrica), temperatura, humedad y ciclos de iluminación. Estos registros sirven como referencia para realizar ajustes y tomar decisiones informadas.
- b) **Calendario de Actividades:** Establecer un calendario que incluya todas las actividades relacionadas con el sistema hidropónico, como cambios de solución nutritiva, limpieza de equipos, y poda. Esto ayuda a mantener un flujo de trabajo organizado y garantiza que todas las tareas se realicen de manera oportuna.
- c) **Registro del Desarrollo de las Plantas:** Documentar el crecimiento de las plantas, desde la germinación hasta la cosecha. Tomar notas sobre el desarrollo de las raíces, la formación de hojas, la aparición de flores y frutas, y cualquier signo de enfermedad o estrés.
- d) **Análisis de Problemas:** Registrar cualquier problema que surja, como deficiencias nutricionales, enfermedades o problemas ambientales. Documentar las acciones tomadas para abordar estos problemas y los resultados obtenidos.
- e) **Fotografías y Gráficos:** Capturar imágenes periódicas del sistema y las plantas. Estas fotografías pueden ser valiosas para evaluar visualmente el progreso a lo largo del tiempo. También, utilizar gráficos para representar cambios en parámetros clave.
- f) **Pruebas de Nutrientes:** Realizar pruebas regulares de la solución nutritiva para evaluar la concentración y la composición de los nutrientes. Ajustar la solución nutritiva según los resultados de estas pruebas.
- g) **Documentación de Experimentos:** Si se realizan experimentos o ajustes en el sistema, documentar cuidadosamente las condiciones iniciales, los cambios realizados y los resultados observados. Esto proporciona información valiosa para la mejora continua.
- h) **Retroalimentación Visual:** Utilizar etiquetas o marcadores para identificar plantas específicas y realizar un seguimiento visual de su progreso. Esto es particularmente útil cuando se cultivan diferentes variedades en el mismo sistema.

### ***3.2.10 Alternativas de medios de cultivo***

En sistemas hidropónicos caseros, el medio de cultivo es esencial para sostener las raíces de las plantas y proporcionar un soporte físico mientras se suministran

nutrientes. Aquí hay algunas alternativas de medios de cultivo que puedes considerar para tu hidropónico casero:

- a) **Perlita:** La perlita es un material ligero y poroso que retiene agua y aire, proporcionando un buen equilibrio para el desarrollo de las raíces. Es inerte y no afecta la composición química de la solución nutritiva.
- b) **Vermiculita:** Similar a la perlita, la vermiculita es un material ligero y retiene agua. Aporta una buena aireación y es útil para retener nutrientes.
- c) **Fibra de Coco:** La fibra de coco es un sustrato natural derivado de la cáscara de coco. Es liviano, retiene agua y es resistente a la descomposición. Ofrece un buen equilibrio de retención de agua y aireación.
- d) **Lana de Roca:** La lana de roca es un material inerte y liviano hecho de roca fundida. Proporciona buen drenaje y aireación, pero puede requerir un ajuste en el pH antes de su uso.
- e) **Grava o Piedra Triturada:** Grava o piedra triturada, como guijarros de río, puede utilizarse como medio de cultivo. Ofrecen un buen soporte para las plantas y facilitan el drenaje, pero no retienen nutrientes.
- f) **Arcilla Expandida (Hydroton):** La arcilla expandida, comúnmente conocida como Hydroton, es un medio popular en hidroponía. Es liviano, proporciona un buen soporte y tiene una alta capacidad de retención de agua y nutrientes.
- g) **Espuma de Poliestireno:** La espuma de poliestireno se utiliza en sistemas de flotación y puede ser una opción para sistemas de cultivo hidropónico de raíz flotante.
- h) **Sustrato para Macetas:** Sustratos para macetas como coco en forma de chips o mezclas de turba y perlita también pueden adaptarse a sistemas hidropónicos caseros.
- i) **Almohadillas de Lana o Filtro:** Almohadillas de lana o fieltro a menudo se utilizan en sistemas de raíz flotante y ofrecen un soporte para las plantas.
- j) **Mezcla de Medios:** Puedes experimentar con mezclas de varios medios para aprovechar las ventajas de cada uno y adaptarte a las necesidades específicas de las plantas que estás cultivando.

### **3.2.11 Diseño estético y ergonómico**

El diseño estético y ergonómico en un sistema hidropónico casero no solo tiene un impacto visual, sino que también puede mejorar la eficiencia y la comodidad en el mantenimiento del sistema. Aquí hay algunos aspectos que puedes considerar para lograr un diseño estético y ergonómico en tu proyecto:

- a) **Selección de Materiales:** Escoge materiales que no solo sean funcionales sino también estéticamente agradables. Puedes optar por materiales que se integren bien con el entorno de tu hogar.
- b) **Color y Estilo:** Elige colores y estilos que se ajusten al ambiente general de la ubicación donde se encuentra el sistema hidropónico. Considera la estética de la habitación o espacio donde se instalará.
- c) **Organización y Distribución:** Planifica la disposición de los componentes de manera ordenada y estéticamente agradable. Un diseño bien organizado facilita el acceso y mantenimiento del sistema.
- d) **Espacios de Trabajo Ergonómicos:** Asegúrate de que los componentes del sistema, como la bomba, el depósito de solución nutritiva y los tubos, estén ubicados en lugares de fácil acceso para realizar tareas de mantenimiento sin dificultad.
- e) **Ocultamiento de Cables y Tubos:** Esconde o organiza los cables y tubos de manera que no solo se vean ordenados, sino que también evites posibles tropiezos y facilitar el mantenimiento.
- f) **Iluminación Integrada:** Si es posible, integra la iluminación directamente en el sistema o en su entorno. Esto no solo contribuirá a la estética, sino que también mejorará la visibilidad y resaltará las plantas.
- g) **Utilización de Recipientes Decorativos:** Usa macetas y recipientes decorativos que complementen el diseño general. Pueden ser seleccionados para coordinar con el estilo de tu espacio interior.
- h) **Incorporación de Elementos Naturales:** Integra elementos naturales como madera, piedras o plantas ornamentales que armonicen con el entorno y proporcionen una sensación de conexión con la naturaleza.
- i) **Diseño Modular:** Considera un diseño modular que permita la expansión o reorganización fácil del sistema según sea necesario. Esto facilita la adaptabilidad y la mejora continua.

- j) **Seguridad y Accesibilidad:** Asegúrate de que el diseño sea seguro y que todos los elementos sean accesibles. Evita bordes afilados o estructuras que puedan representar un riesgo (Contreras, 2022).

### 3.3 Enfermedades que pueden atacar a los cultivos hidropónicos

Aunque los sistemas hidropónicos caseros pueden reducir el riesgo de algunas enfermedades comunes en comparación con los sistemas de suelo, aún existen desafíos y amenazas potenciales para los cultivos. Aquí hay algunas enfermedades que podrían afectar a los cultivos hidropónicos caseros y algunas medidas preventivas que puedes considerar:

a) **Pudrición de la Raíz (Pythium):**

**Síntomas:** Marchitez, oscurecimiento y descomposición de las raíces.

**Prevención:** Mantén un ambiente limpio y bien ventilado, asegúrate de que el sistema tenga un buen drenaje, y evita niveles excesivos de humedad.

b) **Mildiú Polvoriento (Oidium):**

**Síntomas:** Manchas blancas de polvo en hojas y tallos.

**Prevención:** Controla la humedad y proporciona una buena ventilación. Selecciona variedades resistentes cuando sea posible.

c) **Manchas Foliares (Alternaria):**

**Síntomas:** Manchas necróticas en las hojas.

**Prevención:** Evita el exceso de humedad, proporciona una buena circulación de aire y mantiene una limpieza adecuada.

d) **Fusarium y Verticillium:**

**Síntomas:** Amarillamiento y marchitez de las plantas.

**Prevención:** Utiliza prácticas de cultivo higiénicas, como la rotación de cultivos, y asegúrate de obtener plantas libres de patógenos.

e) **Botrytis (Moho Gris):**

**Síntomas:** Descomposición de tejidos, especialmente en condiciones húmedas.

**Prevención:** Controla la humedad y proporciona buena ventilación. Elimina regularmente las hojas y partes de plantas muertas.



**f) Virus:**

**Síntomas:** Varían según el tipo de virus, pero pueden incluir deformidades en las hojas y mosaicos.

**Prevención:** Evita la introducción de plantas infectadas, utiliza semillas y plántulas de fuentes confiables y controla los insectos portadores de virus.

**g) Antracnosis:**

**Síntomas:** Manchas acuosas y necróticas en hojas y frutas.

**Prevención:** Controla la humedad, evita el contacto con el suelo y utiliza fungicidas orgánicos si es necesario.

**h) Hongos del Suelo:**

**Síntomas:** Pueden incluir manchas, necrosis y marchitez.

**Prevención:** Utiliza sustratos estériles y desinfecta regularmente el sistema. Monitorea y controla la calidad del agua.

**i) Bacterias:**

**Síntomas:** Marchitez, manchas y pudrición.

**Prevención:** Mantén la higiene del sistema, evita el exceso de humedad y utiliza agua limpia.

Es fundamental la observación regular de las plantas y la implementación de prácticas preventivas para reducir el riesgo de enfermedades en un sistema hidropónico casero. Además, si notas signos de enfermedades, actúa rápidamente para controlar la propagación y aplicar tratamientos adecuados (Vázquez, Salinero Corral, Pérez Otero, & Iglesias Vázquez, 2019).

### **3.4 Macerados caseros para cultivos hidropónicos**

Los macerados caseros son preparados líquidos a base de plantas, a menudo utilizados en la agricultura orgánica y en sistemas hidropónicos, para proporcionar nutrientes y estimular el crecimiento de las plantas. Aquí algunas ideas de macerados caseros que se puede preparar para tu cultivo hidropónico:

**a) Macerado de Ortiga:**

- **Ingredientes:** Ortigas frescas, agua.
- **Proceso:** Llena un recipiente con ortigas frescas y cúbrelo con agua. Deja reposar durante una semana, agitando ocasionalmente. Filtra la mezcla y diluye antes de usar.
- **Propósito:** Rica en nitrógeno, estimula el crecimiento de las plantas y actúa como fortificante general.

- **Beneficios:** Mejora la salud general de las plantas, promueve el desarrollo de las raíces y aporta nutrientes esenciales.

**b) Macerado de Ajo:**

- **Ingredientes:** Dientes de ajo, agua.
- **Proceso:** Pela y corta dientes de ajo, luego colócalos en un recipiente con agua. Deja reposar durante unos días y filtra antes de usar. Este macerado puede actuar como repelente de insectos.
- **Propósito:** Actúa como repelente de insectos y tiene propiedades antifúngicas.
- **Beneficios:** Ayuda a proteger las plantas contra plagas y enfermedades.

**c) Macerado de Plátano:**

- **Ingredientes:** Cáscaras de plátano, agua.
- **Proceso:** Coloca cáscaras de plátano en un recipiente y cúbrelo con agua. Deja reposar durante varios días y luego filtra. Este macerado proporcionará potasio a las plantas.
- **Propósito:** Proporciona potasio, un nutriente esencial para el desarrollo de flores y frutas.
- **Beneficios:** Mejora la floración y la formación de frutas.

**d) Macerado de Consuelda:**

- **Ingredientes:** Hojas de consuelda, agua.
- **Proceso:** Llena un recipiente con hojas de consuelda y cúbrelo con agua. Deja reposar durante varias semanas y filtra antes de diluirlo.
- **Propósito:** Contiene altos niveles de potasio y otros nutrientes.
- **Beneficios:** Estimula el crecimiento de las plantas, mejora la resistencia a enfermedades y contribuye al desarrollo de frutas.

e) **Macerado de Cola de Caballo:**

- **Ingredientes:** Cola de caballo seca, agua.
- **Proceso:** Hierve cola de caballo seca en agua durante un tiempo y luego deja enfriar. Filtra antes de usar. Este macerado puede ser beneficioso para fortalecer las plantas.
- **Propósito:** Contiene sílice y otros minerales que fortalecen las plantas.
- **Beneficios:** Mejora la resistencia de las plantas contra enfermedades y plagas, fortalece los tejidos vegetales.

f) **Macerado de Manzanilla:**

- **Ingredientes:** Flores de manzanilla, agua.
- **Proceso:** Llena un recipiente con flores de manzanilla y cúbrelo con agua. Deja reposar durante unos días y filtra antes de usar. Puede tener propiedades antifúngicas y antiinflamatorias.
- **Propósito:** Tiene propiedades antifúngicas y antiinflamatorias.
- **Beneficios:** Ayuda a prevenir enfermedades fúngicas, alivia el estrés de las plantas.

g) **Macerado de Cáscaras de Huevo:**

- **Ingredientes:** Cáscaras de huevo, agua.
- **Proceso:** Tritura cáscaras de huevo y colócalas en un recipiente con agua. Deja reposar durante un tiempo para liberar calcio en el agua. Filtra antes de usar.
- **Propósito:** Tiene propiedades antifúngicas y antiinflamatorias.
- **Beneficios:** Ayuda a prevenir enfermedades fúngicas, alivia el estrés de las plantas.

h) **Macerado de Pimiento Picante:**

- **Ingredientes:** Pimientos picantes, agua.
- **Proceso:** Tritura pimientos picantes y colócalos en agua. Deja reposar durante un tiempo y filtra antes de usar. Este macerado puede ayudar a repeler plagas.

- **Propósito:** Tiene propiedades antifúngicas y antiinflamatorias.
- **Beneficios:** Ayuda a prevenir enfermedades fúngicas, alivia el estrés de las plantas.

Es importante no sobrepasar las concentraciones recomendadas para evitar posibles problemas de fitotoxicidad. Además, es aconsejable probar en una pequeña área antes de aplicar cualquier macerado a todo el cultivo (Beltrano & Gimenez, 2015).

**CAPÍTULO IV**  
**PROCESO DE PRODUCCIÓN**

## **4.1. Construcción física y parámetros establecidos del sistema hidropónico**

### **4.1.1. Tipo de sistema seleccionado**

El sistema de recirculación de solución de nutrientes "NFT" consiste en una pieza de solución nutritiva que está en contacto con las raíces del cultivo y circula continuamente sin perder ni exportar la solución nutritiva al exterior, por lo que forma un sistema cerrado. A diferencia de los sistemas que se ofrecen para los jardines hidropónicos populares, las plantas se cultivan sin sustrato, por lo que las plantas se suspenden en canales de cultivo con o sin contenedores de apoyo. Otra característica de este sistema es la necesidad de superficies de cultivo inclinadas o irregulares, ya que de esta forma es posible la recirculación de la solución nutritiva. Los sistemas "NFT" se implementan de diferentes maneras, especialmente en las regiones secas de América Latina. Sin embargo, esta técnica también se puede aplicar a productores o empresas con otras condiciones agroecológicas. Para ello es importante el conocimiento previo de la zona y época de cultivo. Su éxito en las condiciones locales también se basa en el uso y apropiación de materiales cercanos, así como en la disponibilidad de personal calificado en la preparación y manejo de soluciones nutritivas, sistemas y cultivos hidropónicos de especies seleccionadas, populares o suburbanas, y el nivel de inversión es superior a la necesaria para aumentar la capacidad de producción (Cevallos, 2020).

Se seleccionó el tipo de sistema NFT (Flujo de Nutrientes en Película) del que se brindan las características en el párrafo anterior, para implementar el sistema hidropónico en la ciudad de Loja ya que este tipo de sistema permite el ahorro de agua frente a otros sistemas hidropónicos debido a que el agua se recircula continuamente en una película delgada sobre las raíces de las plantas, lo que permite que las plantas absorban los nutrientes necesarios. Esto puede ser especialmente beneficioso en la ciudad ya que se puede tener problemas de escasez de agua en ciertas épocas del año.

Así mismo, al implementar este sistema se logra ahorro de espacio ya que es ideal para el cultivo en espacios pequeños, debido a que las plantas se cultivan en canales estrechos y se apoyan en soportes verticales. Esto puede ser útil en una ciudad densamente poblada como Loja, donde el espacio puede ser limitado especialmente en la zona urbana.

Trabajar con el sistema NFT permitió una mayor eficiencia en el uso de nutrientes ya que proporciona una cantidad precisa de nutrientes a las plantas, lo que puede mejorar su crecimiento y producción. Además, el sistema permite que los nutrientes se recirculen, lo que reduce la cantidad de desperdicio y hace que el sistema sea más eficiente en el uso de los nutrientes. Finalmente, el uso de dicho sistema permitió una mejora en la calidad de los cultivos, al producir cultivos de alta calidad y sabor debido a que las plantas tienen acceso constante a los nutrientes y al agua.

#### **4.1.2. Selección del espacio adecuado**

Para seleccionar el espacio adecuado en la instalación del sistema hidropónico, se consideraron algunos factores importantes que se muestran a continuación:

- **Luz:** Es esencial que el espacio cuente con una fuente de luz natural o artificial adecuada para el crecimiento de las plantas. La mayoría de los cultivos hidropónicos requieren al menos 6 horas de luz diaria. Con este antecedente, al sistema se lo implementó en la terraza del edificio Status del ISTS en un área de 9m<sup>2</sup>, lugar donde recibía luz natural todo el tiempo, además cuenta con el espacio suficiente para permitir el acceso al mantenimiento respectivo y a la cosecha.
- **Temperatura:** La temperatura ambiente del espacio debe estar dentro del rango óptimo de crecimiento para las plantas seleccionadas. En general, la mayoría de los cultivos hidropónicos crecen mejor en temperaturas entre 18°C y 24°C, parámetro que se cumple en condiciones normales en la temperatura ambiente de la ciudad de Loja ya que, durante el día, las temperaturas en la ciudad suelen oscilar entre 18°C y 25°C, mientras que durante la noche pueden descender a entre 10°C y 16°C. En los meses de invierno (de diciembre a febrero), las temperaturas pueden bajar un poco más, mientras que en los meses de verano (de junio a agosto), pueden aumentar ligeramente.
- **Humedad:** La humedad del ambiente también es importante para el éxito de los cultivos hidropónicos. Una humedad relativa de alrededor del 50-60% es ideal para la mayoría de las plantas. En la ciudad de Loja suele oscilar entre el 50% y el 80%. Sin embargo, durante los meses de invierno (de diciembre a febrero), la humedad relativa puede ser más alta debido a la presencia de lluvias y neblina, lo que puede hacer que se sienta más húmedo y en los meses de verano (de junio a agosto), la humedad relativa puede ser más baja debido a la menor cantidad de

precipitaciones. En cualquier caso, es importante tener en cuenta que la humedad relativa puede variar según el día y las condiciones meteorológicas pero este hecho no afectó al crecimiento de los cultivos ya que la humedad, durante el funcionamiento del sistema, se mantenía dentro del rango óptimo.

- **Ventilación:** La ventilación es una consideración importante para cualquier sistema hidropónico, especialmente si está al aire libre como es el caso del sistema implementado. Una buena ventilación ayuda a mantener el aire fresco y en movimiento, lo que es esencial para la salud de las plantas y para evitar problemas de plagas y enfermedades.

Dotar al sistema de buena ventilación brinda suministro de oxígeno ya que las plantas necesitan de este elemento para realizar la fotosíntesis y para su crecimiento saludable, con ello se asegura que el aire en el sistema hidropónico esté bien oxigenado. En los días calurosos, el aire fresco que entra a través de la ventilación ayuda a reducir la temperatura en el sistema hidropónico, lo que puede evitar que las plantas se quemen o se estresen. Además, permite la eliminación de la humedad, ya que, en un sistema de este tipo, la humedad puede acumularse y crear un ambiente húmedo, lo que puede conducir a problemas de moho y hongos por lo que la ventilación ayuda a reducir la humedad y evitar estos problemas. Así mismo, la ventilación ayudó a mantener el aire en movimiento, lo que dificulta la propagación de plagas y enfermedades en las plantas.

El acceso a agua y electricidad resultó esencial para la implementación del sistema de cultivo hidropónico. Sin estos recursos, no es posible mantener el sistema en funcionamiento y no se puede proporcionar a las plantas los nutrientes y el ambiente adecuados para su crecimiento. Los sistemas hidropónicos utilizan una solución nutritiva para proporcionar nutrientes a las plantas, por ende, es necesario tener acceso a una fuente confiable de agua para preparar esta solución nutritiva y para mantener el sistema hidropónico funcionando de manera óptima. Así mismo, también necesitan electricidad para funcionar. Los sistemas de iluminación, bombas de agua y otros componentes eléctricos y electrónicos son esenciales para el funcionamiento del sistema.



### 4.1.3. Diseño del hidropónico (armado)

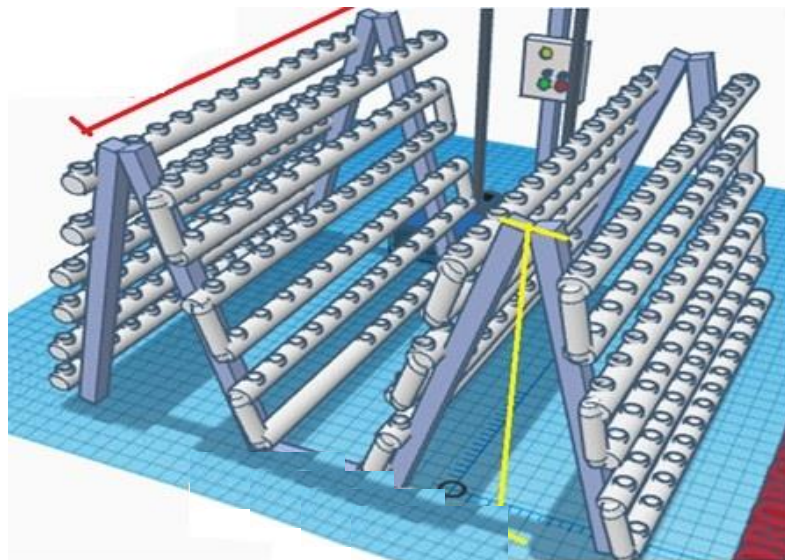
Existen varios tipos de estructuras físicas que se pueden utilizar para un sistema de cultivo hidropónico, dependiendo del tipo de cultivo, el espacio disponible y la necesidad del agricultor. Para el sistema que se describe en la implementación de este libro, se trabajó una estructura tipo A para su funcionamiento porque esta estructura proporciona una inclinación adecuada que permite que el agua fluya a través de los canales de manera uniforme y constante. Esta inclinación asegura que el agua no se estanque en ningún punto del canal, ya que esto podría provocar la acumulación de algas, hongos y otros organismos no deseados que podrían dañar las raíces de las plantas.

Además, una estructura tipo A permite una mejor distribución de los nutrientes a las plantas, ya que el agua y los nutrientes se distribuyen de manera uniforme en los canales. Esto es especialmente importante en sistemas hidropónicos con NFT, donde las raíces de las plantas están suspendidas en el aire y dependen completamente del flujo constante de agua y nutrientes para crecer y prosperar.

Otra ventaja de una estructura tipo A es que facilita el acceso a los canales para el mantenimiento y la limpieza. Como los canales están inclinados, es más fácil drenar y limpiar el sistema, lo que reduce el riesgo de enfermedades de las plantas y aumenta la eficiencia del sistema en general. En la figura 17 se puede observar el diseño en 3D del sistema hidropónico implementado.

**Figura 17**

*Diseño 3D tipo A del sistema hidropónico*



#### **4.1.4. Infraestructura (espaciado entre agujeros)**

El espacio entre los agujeros en un sistema de cultivo hidropónico NFT depende del tipo de planta que se esté cultivando y del tamaño de las raíces. Por lo general, el espacio entre los agujeros debe ser suficientemente amplio para permitir que las raíces de las plantas crezcan sin restricciones, pero no tan grande que las plantas no se sostengan bien en el canal.

Para plantas de hojas verdes y hierbas, el espacio entre los agujeros suele ser de alrededor de 15 a 20 centímetros. Para plantas más grandes, como tomates y pepinos, el espacio entre los agujeros debe ser de alrededor de 25 a 30 centímetros. Es importante tener en cuenta que el espacio entre los agujeros también afectará la cantidad de plantas que se pueden cultivar en el sistema. Si el espacio entre los agujeros es demasiado grande, se podrían colocar menos plantas en el canal y, por lo tanto, reducir la cantidad total de plantas que se pueden cultivar en el sistema.

El sistema hidropónico implementado para el cultivo de lechugas mediante el sistema NFT utiliza una distancia entre agujeros de 17 cm. Este sistema se compone de un canal de cultivo de PVC que recircula constantemente una solución nutritiva a través de los canales. En cada canal se encuentran agujeros con una separación de 17 cm para la colocación de las plántulas.

Las plántulas de lechuga se colocan en pequeñas macetas de lana de roca que se ubican en los agujeros del canal hidropónico. La solución nutritiva se suministra a través de los canales y fluye suavemente alrededor de las raíces de las plantas, lo que les proporciona los nutrientes necesarios para crecer y prosperar. Este sistema hidropónico ofrece varias ventajas para el cultivo de lechugas, como un mayor control sobre las condiciones de crecimiento, lo que permite la optimización de los nutrientes y la iluminación, y un menor riesgo de plagas y enfermedades. Además, el sistema NFT también permite un ahorro significativo de agua en comparación con los sistemas de cultivo convencionales, ya que la solución nutritiva se recircula y se reutiliza.

#### **4.1.5. Material utilizado en la construcción del sistema**

El PVC (policloruro de vinilo) es uno de los materiales más comúnmente utilizados en la fabricación de canales para sistemas hidropónicos, debido a varias razones. En primer lugar, el PVC es un material económico y fácilmente disponible en la mayoría de las tiendas de materiales de construcción. Además, es un material resistente y duradero que no se degrada fácilmente en ambientes húmedos o corrosivos, lo que lo hace ideal para su uso en sistemas hidropónicos.

El PVC también es un material fácil de trabajar, lo que permite la fabricación de canales personalizados de diferentes tamaños y formas. Los canales de PVC pueden ser cortados y ensamblados fácilmente con herramientas comunes, lo que permite la construcción de sistemas hidropónicos adaptados a las necesidades específicas de los cultivos y los espacios disponibles.

Es material no tóxico ya que no libera sustancias dañinas en la solución nutritiva, lo que lo hace seguro para su uso en sistemas hidropónicos. Sin embargo, es importante asegurarse de que el PVC utilizado sea de grado alimenticio para evitar la contaminación de la solución nutritiva con sustancias dañinas.

Por lo descrito anteriormente, se trabajó con este tipo de material ya que permitió un mayor control sobre las condiciones de cultivo. Al cultivar las lechugas en tubos de PVC, se logró controlar la cantidad exacta de agua y nutrientes que se suministra a las plantas, lo que maximiza su crecimiento y desarrollo.

Usar este tipo de material permitió un uso más eficiente del agua y los nutrientes, ya que, como se había descrito anteriormente, en este tipo de sistemas, el agua y los nutrientes se recirculan constantemente, lo que significa que se requiere mucho menos agua y nutrientes que en un sistema de cultivo en suelo, esto hace que el cultivo hidropónico de lechugas sea más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Se logró un mayor rendimiento por unidad de área cultivada al emplear tubos PVC en la siembra de lechugas; se logró cultivar más plantas por unidad de área, al aprovechar su estructura vertical y no en horizontal. Esto significa que se puede obtener una mayor cantidad de lechugas por metro cuadrado de espacio cultivado, lo que es especialmente útil en áreas urbanas donde el espacio es limitado, como es el caso del espacio con el que se cuenta para el funcionamiento de este sistema.

Por último, el uso de tubos de PVC para el cultivo hidropónico de lechugas es una práctica rentable y de bajo costo. Es un material económico y fácilmente disponible en la mayoría de las tiendas de materiales de construcción, lo que significa que es una opción asequible para los productores agrícolas. Además, los sistemas hidropónicos con tubos de PVC son fáciles de construir y mantener, lo que reduce los costos de instalación y operación.

#### **4.1.6. Velocidad del agua**

La velocidad del agua en un sistema hidropónico NFT para el cultivo de lechugas es un factor crítico a considerar para obtener un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. La velocidad del agua debe ser suficientemente lenta para permitir que las raíces de las lechugas absorban los nutrientes y el oxígeno de la solución nutritiva. Sin embargo, no debe ser tan lenta que la solución nutritiva se estanque o que la capa de película de agua se vuelva demasiado delgada.

La velocidad del agua en un sistema NFT para el cultivo de lechugas se recomienda que esté en el rango de 0.5 a 1.5 litros por minuto por canal. Algunos productores utilizan un flujo de agua más bajo, alrededor de 0.3 litros por minuto, pero esto puede aumentar el riesgo de que la solución nutritiva se estanque y cause problemas de sobrecalentamiento en el sistema. Por otro lado, un flujo de agua más alto, por encima de 1.5 litros por minuto, puede generar una capa de película de agua demasiado delgada, lo que puede hacer que las raíces se sequen.

Un estudio realizado por Janse et al. (2017) encontró que para el cultivo de lechugas en un sistema NFT, la velocidad del agua debe estar en el rango de 0.5 a 1.5 litros por minuto por canal para obtener un crecimiento óptimo de las plantas. Además, los autores indicaron que un flujo de agua más bajo puede aumentar el riesgo de estancamiento de la solución nutritiva y problemas de sobrecalentamiento, mientras que un flujo de agua más alto puede generar una capa de película de agua demasiado delgada, lo que puede hacer que las raíces se sequen.

De manera similar, un estudio realizado por Kim et al. (2017) encontró que un flujo de agua de 1.0 litro por minuto por canal fue óptimo para el cultivo de lechugas en un sistema NFT en términos de crecimiento y calidad de las plantas, siguiendo estas

pautas, en el sistema implementado, se trabajó con este flujo para garantizar que el cultivo sea el correcto y el ideal para ser consumido

Como recomendación, la velocidad del agua en un sistema hidropónico NFT para el cultivo de lechugas debe ajustarse cuidadosamente para proporcionar una capa de película de agua adecuada para el crecimiento y desarrollo de las raíces, sin riesgo de estancamiento del agua o sequedad de las raíces. Además, se recomienda monitorear regularmente el flujo de agua en el sistema y hacer ajustes según sea necesario para garantizar el óptimo crecimiento y desarrollo de las lechugas.

#### **4.1.7. Sembrado de plantas**

Una vez que se establece el diseño de la estructura final y el material a emplear en la construcción del sistema hidropónico, se procede al sembrado de las plantas, que como ya se había mencionado, se seleccionaron a las lechugas como cultivo a producir, dicho proceso, debe realizarse de manera adecuada para asegurar un crecimiento óptimo de las mismas.

En primer lugar, las plántulas deben ser cultivadas previamente en un medio de germinación adecuado, como lana de roca o cubos de turba. Una vez que las plántulas han desarrollado sus primeras hojas verdaderas, están listas para ser trasplantadas al sistema hidropónico tal y como se observa en la Figura 18.

### **Figura 18**

*Trasplante de las plántulas al sistema hidropónico*



El canal de cultivo debe estar limpio y libre de cualquier residuo o material extraño. Es recomendable que el ángulo de inclinación del canal sea de aproximadamente 2 grados para permitir que el agua fluya a través de él de manera adecuada. Las plántulas deben ser colocadas en agujeros previamente perforados en el material del canal de cultivo. En el caso de lechugas, se recomienda una distancia de aproximadamente 15-20 cm entre cada planta para permitir un crecimiento adecuado.

Una vez que las plántulas están en su lugar, deben ser aseguradas con una red o soporte que evite que se muevan o se caigan del canal de cultivo, tras ello, se debe comenzar el flujo de agua y nutrientes a través del sistema. La velocidad y el flujo del agua deben ser cuidadosamente monitoreados y ajustados según sea necesario para garantizar un suministro constante de nutrientes y agua a las plantas. Durante todo el proceso de crecimiento, es importante monitorear las condiciones ambientales del sistema, como la temperatura del agua y el pH, para asegurar un crecimiento óptimo de las plantas.

## 4.2. Componentes electrónicos y estructura

### 4.2.1. Controlador Lógico Programable PLC

Para el desarrollo del sistema de cultivo hidropónico se ha seleccionado el PLC LOGO 8 modelo 0BA1 de 12/24 VCC, ya que gracias a su versatilidad y su capacidad de trabajar en ambiente abiertos u hostiles permite un operatividad 24/7 que garantiza el funcionamiento de todo el sistema, además posee 7 entradas digitales y una analógica y 4 salidas tipo relé para la activación/ desactivación de actuadores, tales como: las bombas sumergibles, sistema de aspersión y de forma opcional actuadores para la dosificación de nutrientes u oxigenadores de agua si fueren necesarios.

#### Figura 19

*Controlador lógico programable PLC 0BA1*



*Nota.* En la presente imagen se muestra un PLC de 12/24 VCC idóneo para proceso de automatización de sistemas hidropónicos dotados de sensores.

#### **Funciones que cumple el PLC**

El controlador lógico programable que es el otro nombre por el cual se conoce a un PLC de características básicas, se considera el alma del sistema hidropónico, no solo controla la activación desactivación de las bombas de acuerdo a un reloj calendario configurable, sino que gestiona el riego superficial de hidropónico por aspersión y censa la temperatura externa. Además, para el trabajo en jornadas continuas resulta ideal, puede funcionar plenamente durante muchos años en jornadas 24/7

## **Control Manual o automático del PLC**

El sistema hidropónico cuenta con un sistema automático y uno manual para poder activar y controlar las bombas para el riego del sistema, además cuenta con sistema de iluminación led para optimizar el proceso de fotosíntesis el cual cuenta con varias gamas de colores para diferentes cultivos que se desee implementar, información que se socializa más adelante y un aspersor tipo nebulizador de 200 PSI.

El sistema automático lo realiza el PLC que es el centro principal de control a través de sus salidas, en su programación cuenta con un temporizador con retardo a la conexión, con una activación de cada 2 horas en rangos de 5 minutos para luego desactivarse. Los horarios en que se activará por sí solo son los siguientes: 08h00 - 08h05, 10h35 - 10h40, 13h10 - 13h15, 15h45 - 15h50, 17h20 - 17h25, 19h55 - 20h00, 22h30 - 22h35, 01h05 - 01h10, 03h40 - 03h45

El control de la luz también es automático en este caso se realiza a través de un reflector Led multicolor, este solo se podrá usar a partir de las 18h44 hasta las 06h05, es decir solo en ese horario se encenderán las luces (el color cambia a través del control). Adicionalmente el aspersor se activa cuando la temperatura marque 25 grados y se apagará si baja a 18 grados Celsius (este sistema es opcional es decir se puede desactivar según el cultivo que establezcamos).

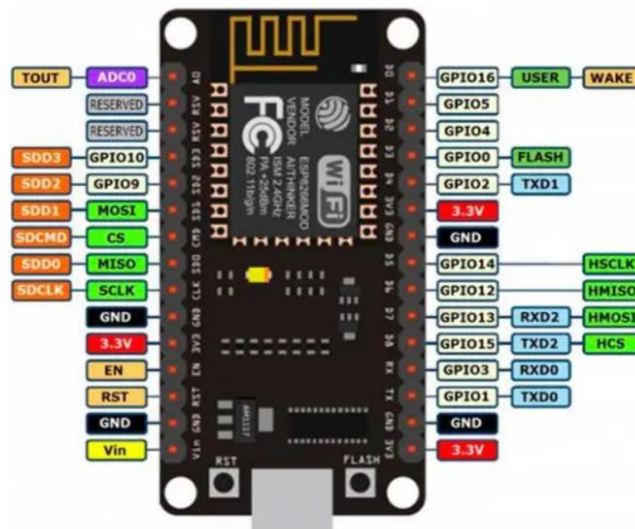
### **4.2.2. Node MCU**

La NODEMCU es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ESP8266, que cuenta con conectividad Wi-Fi integrada y es compatible con el lenguaje de programación Arduino. Esta placa es muy popular en proyectos de IoT (Internet de las cosas) debido a su bajo costo, tamaño compacto y facilidad de uso. Es capaz de realizar una amplia variedad de funciones gracias a sus múltiples pines de entrada/salida digitales y analógicos, así como a su capacidad de conectarse a Internet. Su alimentación de voltaje es de 3.3 voltios de corriente continua, posee 16 pines de propósito general, de los cuales maneja 4 pines para comunicación serial Tx/Rx, un puerto ADC, 4 pines PWM y 6 pines más para funciones especiales.



**Figura 20**

*NodeMCU, funcionalidades de hardware y especificaciones de pines*



*Nota.* En esta imagen se observa las funcionalidades de los pines, así como el integrado de la tarjeta de desarrollo NodeMCU. Tomado de: <https://www.makestore.in/product/node-mcu-cp2102/>

### **Aplicaciones generales de una NodeMCU**

Entre las funciones que se pueden realizar con esta placa se encuentran:

- Controlar dispositivos mediante Internet: La NODEMCU puede recibir órdenes desde una aplicación web o móvil y utilizarlas para encender/apagar luces, motores, electrodomésticos, entre otros.
- Recopilar y enviar datos a la nube: La placa puede leer sensores y enviar los datos a una base de datos en línea, permitiendo el monitoreo remoto de variables como temperatura, humedad, nivel de luz, entre otros.
- Crear una red de sensores: Varias NODEMCUs pueden trabajar juntas para crear una red de sensores distribuidos, que pueden ser utilizados en aplicaciones como monitoreo ambiental, control de calidad, entre otros.
- Crear una red de dispositivos interconectados: La NODEMCU puede trabajar junto con otras placas de desarrollo y dispositivos IoT para crear una red de

dispositivos interconectados, que pueden ser controlados y monitoreados de forma centralizada.

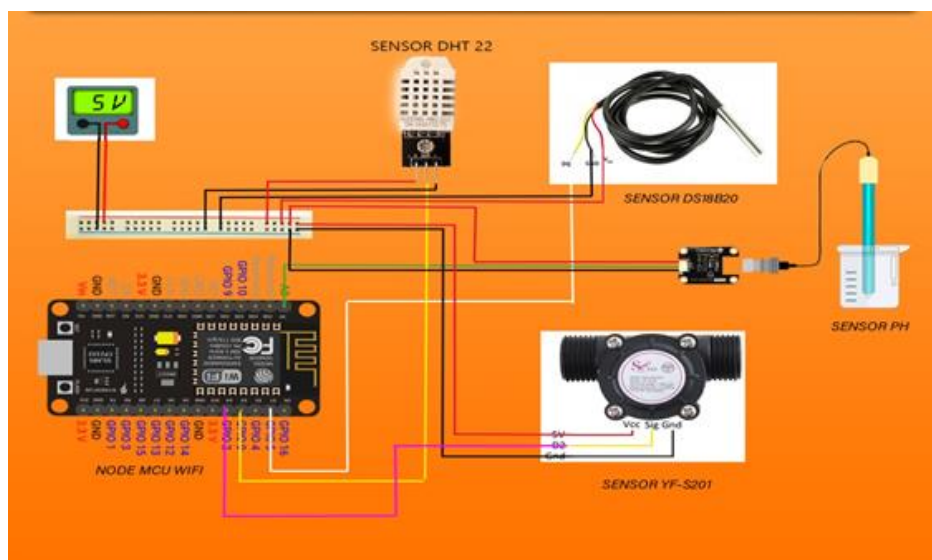
Para programar la NODEMCU se puede utilizar el IDE de Arduino o lenguajes de programación como Lua o MicroPython. Además, existen numerosas librerías y ejemplos disponibles en línea que facilitan el desarrollo de proyectos con esta placa. (OpenMv, 2022).

### **Funciones de la NodeMCU para el sistema hidropónico**

Por su versatilidad, amplia disponibilidad de librerías, su facilidad para programarla y su escalabilidad se optó para utilizar como el controlador NodeMCU idóneo para el manejo, obtención y envío de datos a la nube del sistema hidropónico, dichos datos constituyen: caudal, nivel de PH del agua y vale mencionar que aunque aún no se ha finalizado la lectura de gramos de nutriente para un dosificador de compost (alimento para las plantas hidropónicas), sin embargo esta se considera una herramienta muy versátil que ayudará a mejorar la sobrevivencia y calidad de los cultivos. A continuación, se indica el esquema electrónico del sistema hidropónico en la figura 21.

**Figura 21**

*Diagrama de conexión de los diferentes sensores al NodeMCU wifi*



*Nota.* En el diagrama se muestra como está conectado al microcontrolador NodeMCU sensores tales como: medidor de caudal, PH, temperatura/humedad y humedad ambiental. Tomado de: imagen propia.

El sistema mostrado en la parte superior está conectado a la plataforma thinkspeak monitorizando y almacenando los datos tomados por los sensores indicados, es oportuno mencionar que se puede realizar un sinnúmero de tareas con los mismos, por ejemplo:

procesos de learning machine, big data, trazabilidad, entre otros para optimizar los cultivos y por ende la producción.

### 4.2.3. Bombas

El sistema hidropónico cuenta con dos bombas sumergibles, la primera que es la “principal” es la que se encarga de la irrigación de agua en los ductos donde reposan las raíces de las plantas, mientras que la segunda se encarga de la aspersion de agua cuando la temperatura exterior supera los 24 grados centígrados.

#### Figura 22

*Bomba sumergible de 1HP de 110 v CA*



*Nota.* En la imagen superior se evidencia una bomba sumergible de 1 horse power a 110 voltios de corriente alterna de tipo jaula de ardilla, tiene un ventilador incorporado para evitar sobrecalentamiento. Tomado de: <https://www.directindustry.es/prod/calpeda/product-20991-476415.html>

A continuación, se redacta de forma más detallada el funcionamiento y características de esta etapa tan importante:

#### **Bomba principal**

La bomba de agua sumergible de 1 HP es un componente vital en el sistema hidropónico, ya que es la encargada de suministrar el agua necesaria para el cultivo de las plantas. Esta bomba es controlada por el pin de salida Q1 del PLC Logo 8, lo que permite encenderla y apagarla de manera precisa y programada. Para alimentar la bomba, se utiliza una conmutación que se conecta a una toma eléctrica de 110 V.

El control preciso del encendido y apagado de la bomba es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema hidropónico. Es por ello que se programa el PLC Logo 8 para que la bomba se active en levas de tiempo con una duración de 5 minutos cada 2 horas. De esta manera, se asegura un suministro adecuado de agua para las plantas sin desperdiciar recursos.

La potencia de la bomba de agua sumergible de 1 HP permite un flujo constante de agua para el sistema hidropónico, asegurando que las plantas reciban la cantidad necesaria de agua y nutrientes para su correcto crecimiento y desarrollo. Además, su capacidad de trabajo sumergido la hace ideal para este tipo de sistemas, donde se requiere una bomba que pueda trabajar dentro del agua sin dañarse.

En resumen, la bomba de agua sumergible de 1 HP controlada por el pin de salida Q1 del PLC Logo 8 es un componente vital en el sistema hidropónico, ya que es la encargada de suministrar el agua necesaria para el cultivo de las plantas. Su potencia y capacidad de trabajo sumergido la hacen ideal para este tipo de sistemas, y su control preciso permite un uso eficiente de los recursos y un correcto crecimiento de las plantas.

### **Bomba secundaria**

La bomba sumergible secundaria de 1 HP es un componente importante en el sistema hidropónico, ya que se encarga de activar la aspersion del sistema cuando la temperatura exterior supera o es igual a los 24 grados centígrados. Este control se realiza mediante la salida Q2 del PLC Logo 8, que activa la bomba por conmutación de voltaje de 110 voltios de corriente alterna.

La bomba secundaria tiene una capacidad de flujo pulverizado que permite una distribución uniforme de agua sobre las plantas, asegurando que todas reciban la cantidad adecuada de agua y nutrientes. El caudal de la bomba dependerá del tamaño del sistema hidropónico, pero en general, se recomienda un caudal de al menos 500 litros por hora para garantizar una distribución uniforme del agua.

Es importante tener en cuenta que, al utilizar la aspersion de agua en un sistema hidropónico, se deben tomar ciertos cuidados para evitar dañar las plantas. Por ejemplo, es importante evitar que las hojas permanezcan húmedas por mucho tiempo, ya que esto puede favorecer el desarrollo de enfermedades fúngicas. Además, se debe ajustar la

cantidad de agua asperjada de acuerdo a las necesidades de las plantas, evitando el exceso o la falta de riego.

El sensor de temperatura utilizado para activar la bomba secundaria es una termocupla, que es un sensor de temperatura que mide la diferencia de voltaje entre dos metales conductores diferentes en función de la temperatura. La termocupla es un sensor preciso y confiable para medir la temperatura, lo que permite una activación precisa y oportuna de la bomba secundaria.

En pocas palabras podemos expresar que la bomba sumergible secundaria de 1 HP controlada por la salida Q2 del PLC Logo 8 por conmutación de voltaje de 110 voltios de corriente alterna, activa la aspersión del sistema hidropónico cuando la temperatura exterior supera o es igual a los 24 grados centígrados. El caudal y la distribución uniforme del agua son importantes para un correcto funcionamiento del sistema, y el uso de una termocupla como sensor de temperatura permite una activación precisa y oportuna de la bomba secundaria.

## **Sensores**

Los transductores que constituyen otro nombre de conocer a los sensores para el proceso funcional del sistema hidropónico permiten la adquisición de dos variables determinantes como son la temperatura y la humedad. El sensor DTH22 y la termocupla PT100 son dos tipos de sensores utilizados para medir la temperatura.

### **Termocupla PT100 modelo WZP**

El PT100 es un sensor de temperatura que funciona midiendo la resistencia eléctrica de un elemento de platino en función de la temperatura, y está conectado al puerto analógico de un PLC Logo 8 de 12/24 VCC. Por otro lado, el DTH22 es un sensor de temperatura y humedad que se conecta a una NodeMCU para enviar datos por internet a la plataforma ThinkSpeak.

El PT100 es un sensor de alta precisión que se utiliza comúnmente en aplicaciones industriales donde se requiere una medición precisa de la temperatura. Este sensor funciona midiendo la resistencia eléctrica de un elemento de platino en función de la temperatura, lo que permite una medición precisa y confiable de la temperatura. El PT100 se conecta al puerto analógico del PLC Logo 8, que permite la lectura precisa de la señal analógica y su procesamiento para su uso en el control del sistema.

### **Figura 23**

*Apariencia del sensor termocupla WZP - Pt100*



*Nota.* En la imagen se visualiza el encapsulado de un sensor de dos hilos perteneciente a la familia de las termocuplas Pt100 modelo WZP, muy versátil para ambientes exteriores. Tomada de: <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/174-sensor-de-temperatura-rtd-pt100-2-hilos.html>

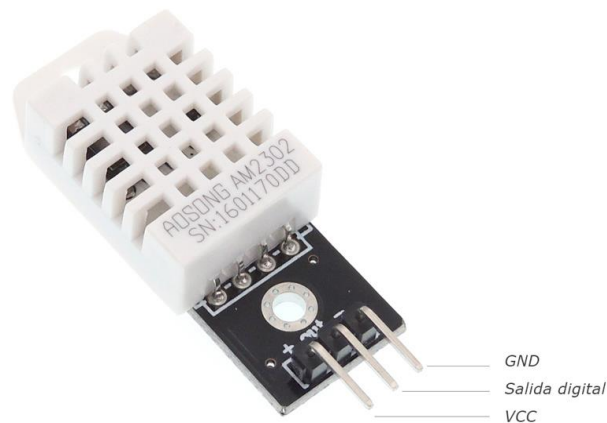
### **Sensor DTH22**

Es un sensor de temperatura y humedad que se conecta a una NodeMCU para enviar datos por internet a la plataforma Thingspeak, se alimenta con 5 voltios de corriente continua. Este sensor utiliza un termistor para medir la temperatura y un sensor capacitivo para medir la humedad relativa. La NodeMCU es una placa de desarrollo que incluye un microcontrolador y una interfaz de red WiFi, lo que permite el envío de datos a la plataforma ThingSpeak a través de Internet.

La plataforma ThingSpeak es una plataforma de IoT que permite la recopilación y visualización de datos en tiempo real. Los datos recopilados por el DTH22 se envían a la plataforma Thingspeak a través de internet, lo que permite la monitorización remota de la temperatura y humedad en tiempo real. Esto es especialmente útil en aplicaciones donde se requiere un control preciso de la temperatura y la humedad, como en sistemas de cultivo hidropónico.

## Figura 24

### Sensor de temperatura y humedad DTH22



*Nota.* En la imagen se socializa el aspecto físico del sensor DTH22 propio para tecnología arduino , de alta precisión y con registro de variables de humedad y temperatura. Tomado de: <https://www.bilbaoelectronics.com/197/dht22-sensor-temperatura-humedad-relativa>

Para una mejor comprensión: tanto el sensor PT100 como el sensor DTH22 son sensores utilizados para medir la temperatura en diferentes aplicaciones. Mientras que el PT100 se utiliza en aplicaciones industriales que requieren una medición precisa de la temperatura, el DTH22 se utiliza en aplicaciones de IoT donde se requiere la monitorización remota de la temperatura y la humedad. El PT100 se conecta al puerto analógico del PLC Logo 8 para su procesamiento y control del sistema, mientras que el DTH22 se conecta a una NodeMCU para enviar datos por internet a la plataforma ThingSpeak.

### Alimentación eléctrica del sistema

La alimentación eléctrica de un sistema hidropónico es un aspecto clave para garantizar el correcto funcionamiento del mismo. En un sistema hidropónico que cuenta con dos bombas sumergibles de 1HP y una PLC de 12VCC, es necesario contar con una fuente de alimentación adecuada que sea capaz de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de todo el sistema.

Es importante tener en cuenta que las bombas sumergibles de 1HP requieren una cantidad significativa de energía para su funcionamiento, por lo que se requiere una fuente

de alimentación que sea capaz de suministrar la cantidad adecuada de energía para su correcto funcionamiento. En este sentido, se recomienda el uso de fuentes de alimentación de alta calidad que cuenten con protecciones contra sobretensiones y sobrecargas para evitar daños en los componentes del sistema.

Por otro lado, el PLC de 12VCC y el controlador de 5VCC también requieren una fuente de alimentación adecuada para su correcto funcionamiento. Es importante asegurarse de que la fuente de alimentación suministre la cantidad adecuada de energía y que tenga las protecciones necesarias para evitar daños en los componentes.

Además, es importante tener en cuenta que el sistema hidropónico debe contar con un sistema de protección contra cortocircuitos y sobrecargas para evitar daños en los componentes del sistema en caso de fallos eléctricos. También se recomienda la instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones para proteger el sistema en caso de variaciones en el suministro eléctrico

### **Retroalimentación o recirculación de agua**

En un sistema hidropónico la retroalimentación o recirculación de agua es un aspecto crítico para garantizar el correcto crecimiento y desarrollo de las plantas. La bomba sumergible de 1HP es una parte importante de este sistema, ya que se encarga de mover el agua y nutrientes a través del sistema para alimentar las plantas. Es importante asegurarse de que la bomba sumergible esté diseñada para la aplicación en sistemas hidropónicos y que cuente con las características técnicas adecuadas para garantizar su correcto funcionamiento.

Según los expertos en sistemas hidropónicos, la selección de la bomba sumergible debe ser cuidadosa y debe considerar factores como el caudal y la altura de elevación necesarios para el sistema. Además, se recomienda el uso de bombas sumergibles que sean silenciosas y de alta eficiencia energética para minimizar el impacto ambiental del sistema.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la limpieza y mantenimiento de la bomba sumergible. Se debe realizar un mantenimiento regular para evitar la acumulación de sedimentos y otros contaminantes en la bomba, lo que puede afectar su rendimiento y



reducir su vida útil. Se recomienda la limpieza regular de la bomba sumergible y la revisión de sus componentes para detectar posibles fallos. En síntesis, la retroalimentación del agua en un sistema hidropónico es un aspecto crítico para garantizar el correcto crecimiento y desarrollo de las plantas. La bomba sumergible de 1HP es un componente importante de este sistema y se deben considerar cuidadosamente las características técnicas y los cuidados necesarios para su correcto funcionamiento. Con la selección adecuada de la bomba sumergible y un mantenimiento regular, se puede garantizar un sistema hidropónico eficiente y exitoso. (Koontz,2019)

## **2. Software**

### **Arduino IDE**

En la actualidad, la tecnología se ha convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de diversas áreas, incluyendo la agricultura. En el sector agrícola, la implementación de sistemas hidropónicos se ha vuelto cada vez más popular, ya que permiten una producción de cultivos más eficiente y sostenible. Sin embargo, para garantizar el éxito de un sistema hidropónico, es necesario monitorear y controlar diversos factores ambientales, como la temperatura, la humedad, el pH del agua y la iluminación. Para ello, se ha desarrollado una variedad de tecnologías, como el uso de sensores y sistemas de control automatizados, que permiten una supervisión constante y un ajuste preciso de estos factores. En este contexto, el lenguaje de programación Arduino y la plataforma Arduino IDE se han convertido en una herramienta esencial para el desarrollo de proyectos de monitoreo y control en sistemas hidropónicos. Arduino es una plataforma de hardware libre y software libre que permite crear dispositivos electrónicos y programarlos de manera sencilla y flexible. La plataforma está basada en una placa de circuito impreso que incluye un microcontrolador y diversos componentes electrónicos, y cuenta con una amplia comunidad de usuarios y desarrolladores que comparten sus proyectos y conocimientos en línea. La plataforma Arduino es compatible con diversos lenguajes de programación, incluyendo C++, y cuenta con una herramienta de programación integrada, el Arduino Integrated Development Environment (Arduino IDE), que permite escribir, compilar y cargar código en la placa Arduino (Araiza, 2019). En el contexto de los sistemas hidropónicos, el uso de la plataforma Arduino y el lenguaje de programación Arduino permite desarrollar proyectos de monitoreo y control que son fundamentales para garantizar el éxito de los cultivos. En particular, el uso de la plataforma Arduino permite integrar diversos componentes electrónicos y sensores que

permiten medir y monitorear factores ambientales como la temperatura, la humedad, el pH del agua y la iluminación. Además, la plataforma Arduino permite programar sistemas de control automatizados que ajustan estos factores de manera precisa y constante, mejorando la producción de los cultivos y reduciendo los costos de energía y mantenimiento. En el presente proyecto se utiliza la placa NodeMCU, que es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ESP8266 y que se puede programar con el lenguaje de programación Arduino. La programación en Arduino tiene como objetivo monitorear tres sensores: un sensor de pH, un sensor de oxígeno en el agua y un sensor DHT22, y utilizar esta información para controlar la iluminación del sistema hidropónico. El proyecto utiliza el lenguaje de programación Arduino para programar la placa NodeMCU y realizar la lectura de los tres sensores. Para el sensor de pH, se utiliza un módulo comercial que se conecta a la placa NodeMCU a través de una interfaz analógica. Para el sensor de oxígeno en el agua, se utiliza un sensor comercial de electrodo de oxígeno disuelto (DO) que se conecta a la placa NodeMCU a través de una interfaz analógica. Finalmente, para el sensor DHT22, se utiliza un módulo comercial que se conecta a la placa NodeMCU a través de una interfaz digital. La placa NodeMCU se encarga de leer la información de los sensores y procesarla para determinar la iluminación óptima para el sistema hidropónico. Para ello, se utiliza una fórmula matemática que combina los valores de pH, oxígeno en el agua y temperatura, y se ajusta la iluminación a través de un sistema de LED. De esta forma se utilizó la plataforma Arduino y el lenguaje de programación Arduino para desarrollar proyectos de monitoreo y control en sistemas hidropónicos. La flexibilidad y facilidad de programación de la plataforma Arduino permite integrar diversos componentes y sensores, lo que permite monitorear y controlar múltiples factores ambientales en un sistema hidropónico de manera eficiente y efectiva.

El uso del lenguaje de programación Arduino y de la plataforma Arduino IDE es fundamental para el desarrollo de proyectos de monitoreo y control en sistemas hidropónicos. La plataforma Arduino ofrece una solución flexible y fácil de programar que permite integrar múltiples componentes y sensores, lo que permite monitorear y controlar factores ambientales críticos como la temperatura, la humedad, el pH del agua y la iluminación. El uso de la plataforma Arduino y el lenguaje de programación Arduino es esencial para garantizar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas hidropónicos, lo que puede tener un impacto significativo en la producción de alimentos a nivel mundial.

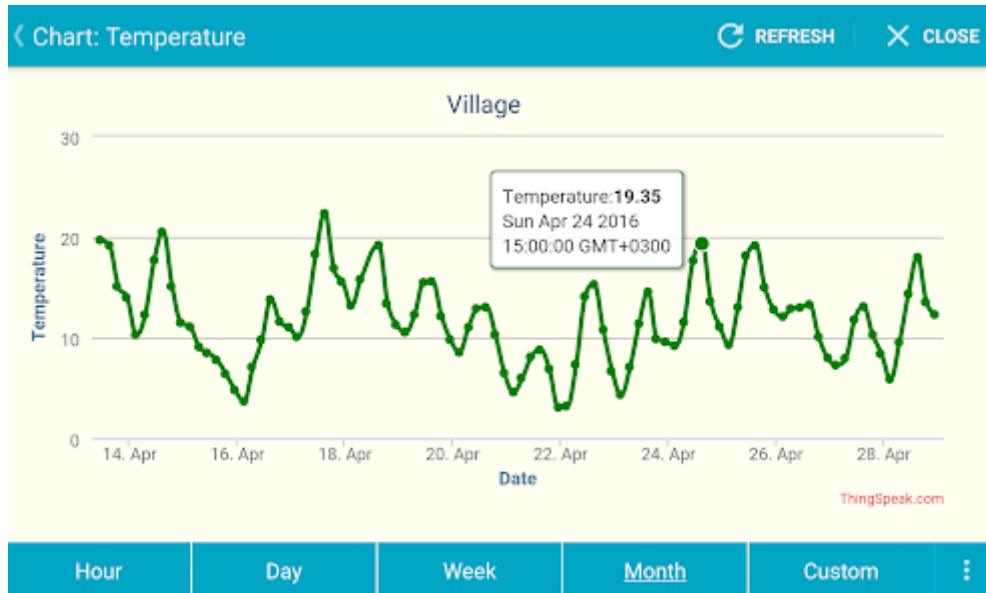
## Thingspeak

ThingSpeak es una plataforma de IoT (Internet de las cosas) que permite a los usuarios recopilar, analizar y visualizar datos de sensores y dispositivos conectados a internet. La plataforma fue desarrollada por MathWorks, una compañía que ofrece herramientas y servicios de software para la ingeniería y la ciencia, y fue lanzada en el año 2010. Desde entonces, ha sido utilizada por una amplia variedad de usuarios, incluyendo estudiantes, investigadores, ingenieros y entusiastas de la tecnología, para una amplia gama de aplicaciones, desde monitoreo de la calidad del aire hasta el control de sistemas hidropónicos.

ThingSpeak se basa en una arquitectura de datos abierta que permite a los usuarios enviar datos a la plataforma a través de diversas interfaces, incluyendo HTTP, TCP/IP y MQTT. Una vez que los datos son enviados a ThingSpeak, se pueden visualizar y analizar utilizando herramientas integradas, como gráficas y tablas, o herramientas externas, como MATLAB, una herramienta de programación utilizada ampliamente en la ciencia y la ingeniería.

### Figura 25

#### Monitoreo con ThingSpeak



Nota. Obtenido de

<https://play.google.com/store/apps/details?id=ua.livi.thingspeakmonitor&hl=es>

ThingSpeak también permite a los usuarios crear aplicaciones personalizadas utilizando su API (Interfaz de Programación de Aplicaciones). La API permite a los usuarios interactuar con ThingSpeak de manera programática, lo que significa que los usuarios pueden enviar y recibir datos desde la plataforma utilizando lenguajes de

programación comunes, como Python, Java y C++. Esto hace que ThingSpeak sea muy flexible y adaptable a una amplia gama de aplicaciones.

También ofrece una serie de características avanzadas que permiten a los usuarios personalizar sus aplicaciones y mejorar la seguridad y la escalabilidad de sus sistemas. Por ejemplo, los usuarios pueden configurar alarmas y notificaciones que se activan cuando se detectan ciertas condiciones en los datos, como una caída repentina en la temperatura o una subida en el nivel de pH. Además, los usuarios pueden proteger sus datos con autenticación y cifrado de extremo a extremo, lo que garantiza que solo los usuarios autorizados puedan acceder a los datos.

ThingSpeak se considera a su vez una plataforma de código abierto, lo que significa que los usuarios pueden personalizar y mejorar el código de la plataforma para adaptarlo a sus necesidades específicas. Además, ThingSpeak cuenta con una gran comunidad de usuarios y desarrolladores que contribuyen con código, documentación y soporte técnico para ayudar a otros usuarios a utilizar la plataforma de manera efectiva. Para el sistema hidropónico, ThingSpeak se utilizó para recopilar y visualizar datos de los sensores conectados al NodeMCU. El NodeMCU envió datos a ThingSpeak a través de una conexión Wi-Fi, lo que permitió a los usuarios acceder a los datos de los sensores desde cualquier lugar con conexión a internet. Los datos se visualizaron en forma de gráficas y tablas, lo que permitió a los usuarios monitorear la calidad del agua, la temperatura y la humedad del aire en el sistema hidropónico en tiempo real.

## **TinkerCAD**

TinkerCAD es una herramienta de diseño 3D en línea que permite a los usuarios crear diseños en 3D de forma rápida y sencilla sin necesidad de tener conocimientos avanzados en diseño. En el diseño de sistemas hidropónicos TinkerCAD logró ser una herramienta muy útil para visualizar el diseño final del sistema antes de su construcción y con ello realizar ajustes en el diseño de forma fácil y rápida.

La creación de un diseño 3D de un sistema hidropónico en este software proporciona una vista previa detallada del sistema antes de su construcción. Esto ayudó a identificar posibles problemas y solucionarlos antes de que el sistema sea construido, lo que permitió ahorrar tiempo y dinero en el proceso de construcción. Además, con TinkerCAD se realizaron ajustes en el diseño de forma fácil y rápida sin tener que hacer

cambios en la estructura física del sistema. Otra ventaja de TinkerCAD es que puede ayudar a los usuarios a explorar diferentes diseños y configuraciones para su sistema hidropónico. Esto puede ser especialmente útil para los diseñadores que están tratando de optimizar su sistema para el cultivo de lechugas y quieren probar diferentes configuraciones para obtener el mejor rendimiento y la mejor calidad de las plantas.

TinkerCAD resultó ser una herramienta útil para el diseño 3D de sistemas hidropónicos en el cultivo de lechugas, ya que permitió visualizar el diseño final del sistema antes de su construcción, realizar ajustes en el diseño de forma fácil y rápida, y explorar diferentes diseños y configuraciones para optimizar el rendimiento y la calidad de las plantas.

## **LogoSOFT**

Logo es un lenguaje de programación utilizado para la creación de gráficos y la manipulación de objetos en pantalla, especialmente en el campo de la educación. La versión 8 de Logo es una actualización del software que ofrece nuevas funcionalidades y mejoras en la interfaz de usuario. Entre las ventajas de Logo versión 8 se encuentran:

- Mayor rapidez y eficiencia en la programación.
- Posibilidad de trabajar con múltiples ventanas y herramientas de edición.
- Integración con otras herramientas de programación y la capacidad de utilizar bibliotecas de funciones predefinidas.
- Amplia documentación y soporte en línea para los usuarios.

Para la programación del controlador lógico programable se ha optado por Logosoft versión 8, a ser un software especializado para los PLC logo de la marca siemens, dicha herramienta provee una programación amigable, orientada a objetos y de fácil transferencia de datos de programación al utilizar cable RJ45 muy común en emplazamientos de redes. Por tanto, las mencionadas características han facilitado el proceso de programación adecuado para el funcionamiento óptimo del PLC y del sistema hidropónico.

## Figura 26

Software LOGOsoft v 8.0



*Nota.* En esta imagen se evidencia como es la arquitectura de programación y la interfaz gráfica del software LOGOsoft V8.0

### **Procedimiento de programación en LOGOsoft para el sistema hidropónico**

En esta sección se proporciona una descripción general de los pasos necesarios para programar el PLC según los requisitos del sistema hidropónico:

- Configurar el PLC: Primero, es necesario configurar el PLC Logo 12/24 VCC y asignar las entradas y salidas necesarias para el sistema hidropónico. Además, se debe configurar el puerto analógico para leer la señal del sensor termocupla.
- Programar la activación de la bomba: Utilizando Logo Soft Version 8, se debe crear un programa que active la bomba durante 5 minutos cada 2 horas. Para ello, se debe programar un temporizador que se active cada dos horas y active la salida que controla la bomba durante 5 minutos.
- Programar la lectura del sensor termocupla: El siguiente paso es programar la lectura del sensor termocupla a través del puerto analógico del PLC. Logo Soft Version 8 ofrece herramientas para leer y procesar señales analógicas, lo que facilita la programación de esta tarea.
- Controlar la segunda bomba y el rociador: Una vez que se lee la temperatura del ambiente y se detecta que supera los 24 grados centígrados, se debe programar la

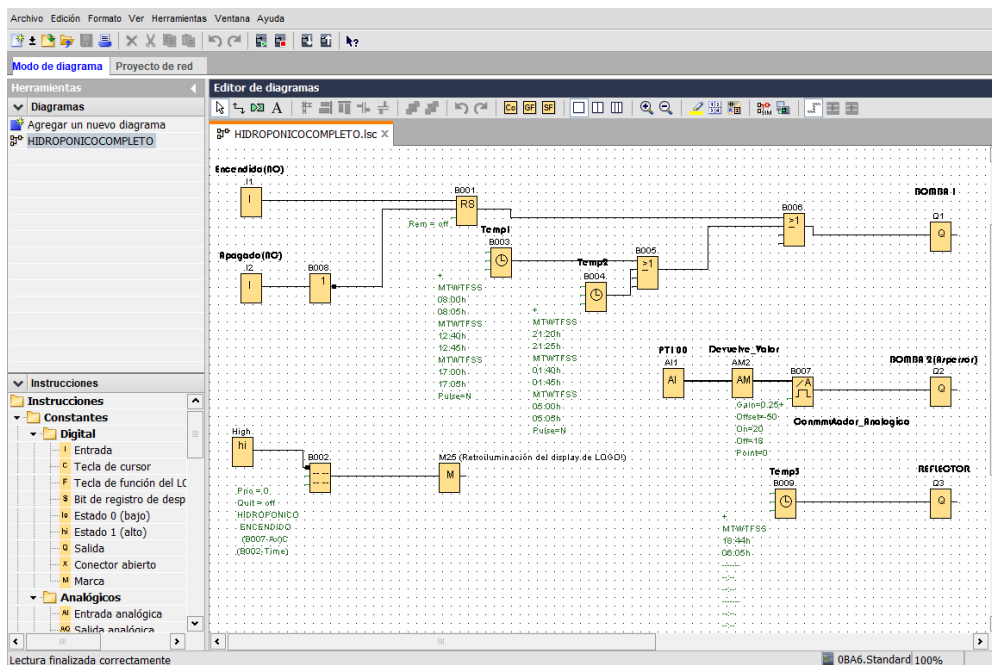
activación de la segunda bomba y del rociador pulverizador de agua. Esto se puede lograr utilizando una condición "si-entonces", donde si la temperatura es mayor a 24 grados centígrados, entonces se activa la segunda bomba y el rociador.

- Mostrar información en pantalla: Por último, se debe programar la visualización de información valiosa del sistema hidropónico en la pantalla del PLC. Logo Soft Version 8 ofrece herramientas para crear interfaces de usuario y visualizar información de manera fácil y rápida.

En síntesis, para programar un sistema hidropónico utilizando Logo SoftVersion 8 para programar un PLC Logo 12/24 VCC que active una bomba durante 5 minutos cada 2 horas, lea un sensor termocupla y controle una segunda bomba y un rociador pulverizador de agua cuando la temperatura supere los 24 grados centígrados, es necesario configurar el PLC, programar la activación de la bomba, programar la lectura del sensor termocupla, controlar la segunda bomba y el rociador, y mostrar información en pantalla.

**Figura 27**

*Ventana programa del sistema hidropónico etapa de irrigado y aspersión*



*Nota.* En esta imagen se puede evidenciar el código orientado a objetos desarrollado para realizar el sistema hidropónico poniendo énfasis en la irrigación por levas de tiempo, la toma de datos de sensor de temperatura y la aspersión.

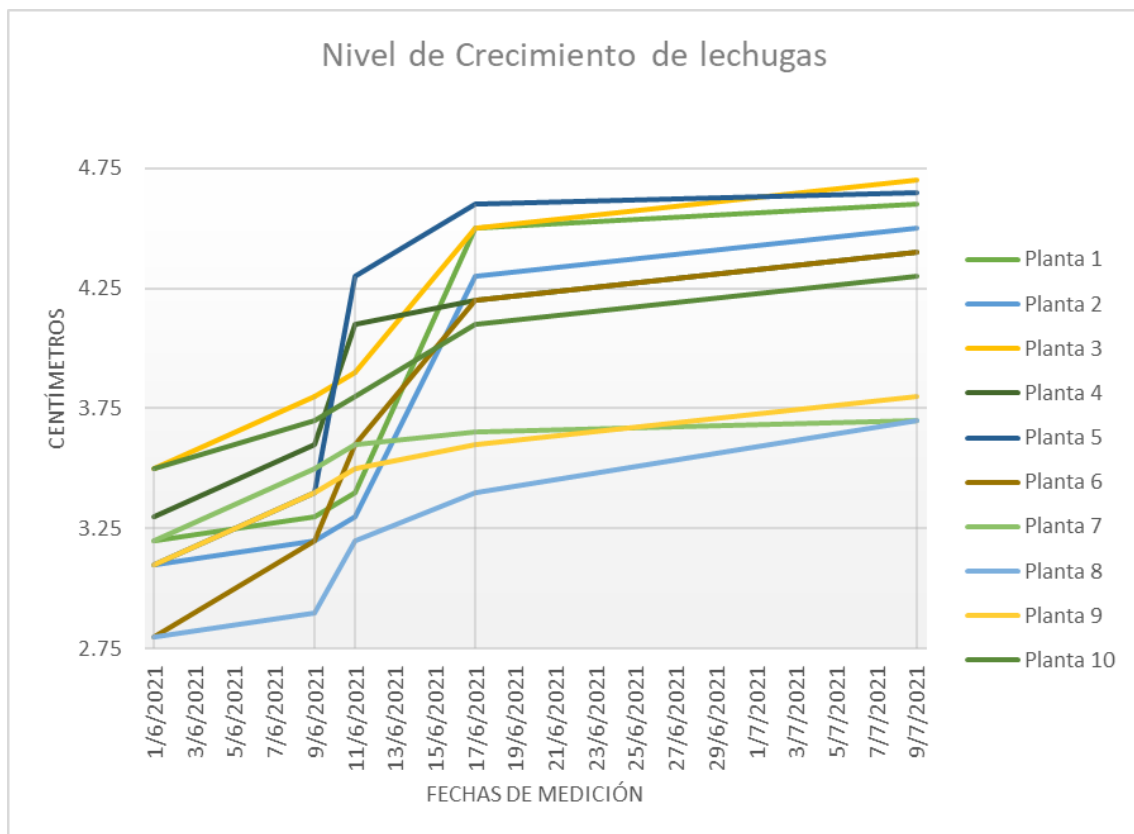
### 3. Resultados obtenidos

#### 3.1. Crecimiento

El tiempo que se debe monitorear el crecimiento de lechugas en un sistema de cultivo hidropónico dependerá de varios factores, como la variedad de lechuga, las condiciones ambientales del sistema y el objetivo final del cultivo. En nuestro caso, el monitoreo del crecimiento de las lechugas en el sistema se lo realizó periódicamente todo el ciclo de cultivo, desde la siembra hasta la cosecha. Durante este tiempo, se monitorizaron factores como la temperatura del agua, la concentración de nutrientes, la velocidad del flujo de agua y la iluminación. En el trabajo realizado se hicieron mediciones con varias lechugas, de las cuales el crecimiento de diez de ellas se evidencia en la Figura 28, así como el tamaño de los folíolos de desde la base hasta el ápice de las mismas en la Figura 29.

**Figura 28**

*Nivel de crecimiento de Lechugas*

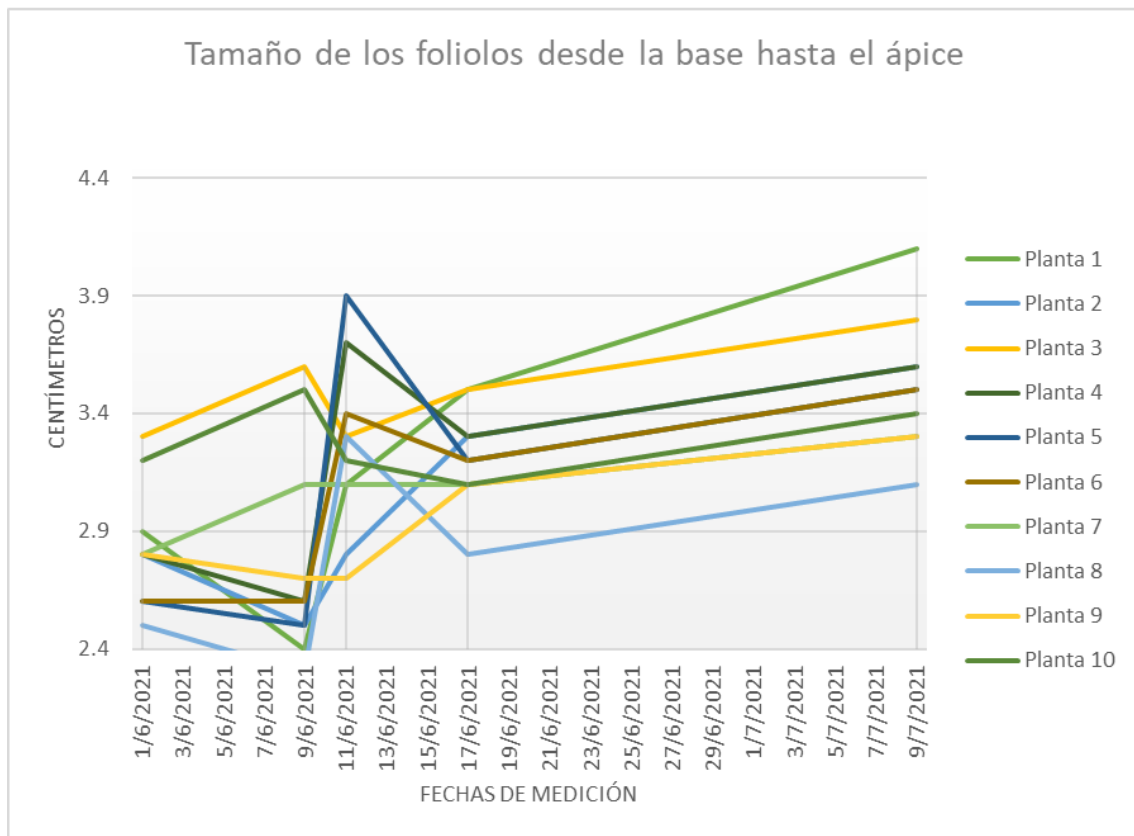


*Nota.* Monitoreado a lo largo de 1 mes.



**Figura 29**

*Tamaño de los foliolos desde la base hasta el ápice*



*Nota.* Monitoreado a lo largo de 1 mes.

### 3.2. Compost

La comparativa entre la alimentación de un sistema hidropónico con compost orgánico y compost químico es importante por varias razones. En primer lugar, la elección del tipo de compost utilizado puede tener un impacto significativo en la calidad de los cultivos hidropónicos. El compost orgánico se produce a partir de materiales biodegradables como restos de comida, hojas y otros residuos orgánicos, y a menudo se enriquece con nutrientes adicionales a través de la adición de estiércol o abono orgánico. Por otro lado, el compost químico se produce a partir de ingredientes sintéticos y puede contener altas concentraciones de nutrientes, pero no tiene la capacidad de mejorar la calidad del suelo como el compost orgánico.

En segundo lugar, la elección del compost también puede tener un impacto en la sostenibilidad del sistema hidropónico. El compost orgánico es una opción más

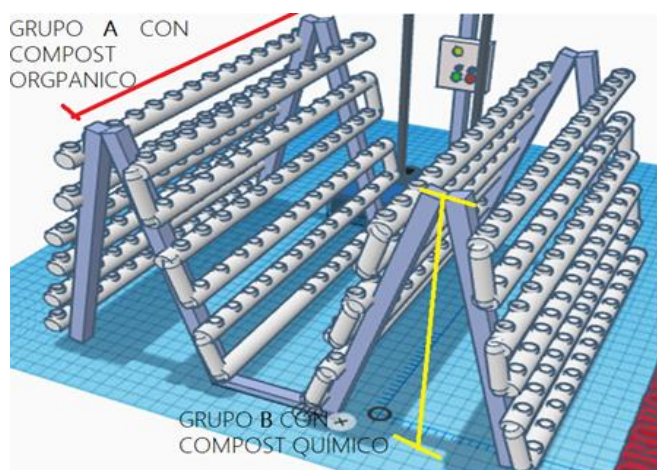
sostenible, ya que se produce a partir de residuos orgánicos que de otro modo se desecharían, reduciendo así el volumen de residuos y disminuyendo la necesidad de fertilizantes sintéticos. Por otro lado, el compost químico se produce a partir de ingredientes sintéticos, lo que puede tener un impacto ambiental negativo en la producción y transporte de los componentes.

En tercer lugar, la elección del compost también puede tener un impacto en la salud de los consumidores. Los alimentos cultivados en un sistema hidropónico alimentado con compost orgánico pueden contener una variedad de nutrientes beneficiosos y estar libres de pesticidas y otros productos químicos sintéticos. Por otro lado, los alimentos cultivados en un sistema hidropónico alimentado con compost químico pueden contener residuos de los ingredientes sintéticos utilizados en la producción del compost, lo que puede ser perjudicial para la salud.

La comparativa entre la alimentación de un sistema hidropónico con compost orgánico y compost químico es importante ya que puede tener un impacto significativo en la calidad y sostenibilidad del sistema hidropónico, así como en la salud de los consumidores. Es importante evaluar los pros y contras de cada opción y seleccionar el tipo de compost que mejor se adapte a las necesidades y objetivos del cultivo. El proyecto se ha desarrollado en dos etapas. Ambas etapas se visualizan en la Figura 30. El grupo A se evidencia al lado izquierdo de la imagen; este grupo está alimentado con una bomba de agua para recircularla y será abastecido por compost orgánico. El grupo B por otro lado será alimentado con un compost de origen químico.

### **Figura 30**

*Grupos de alimentación con compost.*



*Nota.* Grupo A alimentado con compost orgánico y Grupo B alimentado con compost químico.

### **3.3. Análisis de resultados**

El proyecto realizado ha logrado demostrar la efectividad y beneficios del uso de la tecnología para optimizar los procesos de producción de legumbres, específicamente de la lechuga. En primer lugar, el sistema automatizado implementado en el proyecto ha permitido brindar las condiciones ideales para el crecimiento de las legumbres, lo cual se traduce en una mayor eficiencia en la producción y en la obtención de cultivos saludables y de calidad. Además, la comparativa realizada entre el uso de compost orgánico y compost químico ha evidenciado las diferencias y cambios que producen en los cultivos, permitiendo así tomar decisiones más informadas en cuanto a la elección de los insumos utilizados en la producción.

Otro aspecto importante a destacar es el ahorro de agua que se logra con el uso de procesos de irrigación por horarios, que son ajustados para brindar las condiciones adecuadas para el crecimiento de las legumbres. El uso de esta tecnología ha permitido reducir el consumo de agua hasta en un 85%, lo cual no solo beneficia el proceso de producción, sino también al medio ambiente en general.

Adicionalmente, se destaca la posibilidad de llevar un registro y estadística de variables de calidad de agua, temperatura y otros datos valiosos para la producción, utilizando tecnología IoT y cloud computing para realizar análisis y evaluaciones de los cultivos hidropónicos. Esto se traduce en una mayor capacidad de monitoreo y control de los procesos de producción, lo cual a su vez permite realizar mejoras y optimizaciones en la producción.

La socialización del proyecto, realizada ante docentes de la Unidad Educativa “Marieta de Veintimilla” permitió demostrar en vivo el proyecto, evidenciando los beneficios del uso de sustancias orgánicas y técnicas de cultivo en la producción de legumbres. Además, se evidenció el crecimiento y tamaño exitoso de las lechugas cultivadas, lo cual ratifica la efectividad del proyecto en la producción de legumbres.

La aplicación de los conocimientos del proyecto ha logrado demostrar la efectividad y beneficios de la tecnología para optimizar los procesos de producción de legumbres, así como el uso de técnicas y sustancias orgánicas para la producción de cultivos saludables y de calidad. De entre las bondades del mismo se destaca la importancia del monitoreo y control de las variables involucradas en la producción de legumbres, y el uso de tecnología IoT y cloud computing para llevar a cabo estas tareas. El éxito de este estudio representa una alternativa innovadora y sostenible para la producción de alimentos en la ciudad de Loja.

#### **4. Trabajos futuros**

En el contexto actual, la producción de alimentos a nivel mundial se ha vuelto cada vez más desafiante debido al crecimiento de la población y la limitada capacidad de las tierras de cultivo tradicionales. Los sistemas hidropónicos, que son sistemas de cultivo sin suelo, pueden ser una solución efectiva para aumentar la productividad de la agricultura y mejorar la seguridad alimentaria. Sin embargo, la implementación de sistemas hidropónicos exitosos requiere la optimización de varios factores, incluyendo la iluminación artificial para la fotosíntesis de las plantas.

La iluminación es uno de los factores críticos que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, y su importancia aumenta aún más en el contexto de los sistemas hidropónicos. La luz natural no siempre es suficiente para proporcionar a las plantas las condiciones óptimas de crecimiento, especialmente en ambientes cerrados, como invernaderos o instalaciones de cultivo vertical. Por lo tanto, la iluminación artificial se utiliza comúnmente para complementar la luz natural y garantizar un crecimiento óptimo de las plantas.

La tecnología de diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés) se ha vuelto cada vez más popular en la iluminación artificial para la fotosíntesis de las plantas debido a su eficiencia energética, durabilidad, y la capacidad de proporcionar un espectro de luz ajustable y personalizado. Sin embargo, aún queda mucho por explorar y optimizar en el uso de la iluminación artificial en sistemas hidropónicos.

Los trabajos futuros pueden centrarse en varios aspectos importantes, como la optimización de la intensidad y el espectro de la luz LED para diferentes cultivos hidropónicos, la implementación de sistemas de control de iluminación para aumentar la eficiencia energética y reducir los costos de energía, y la evaluación de la eficacia de la iluminación LED en la mejora de la calidad y la cantidad de la producción de cultivos.

Además, los trabajos futuros pueden considerar el uso de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, para optimizar el uso de la iluminación artificial en los sistemas hidropónicos. Por ejemplo, los sistemas de control inteligente pueden ajustar automáticamente la intensidad y el espectro de la luz LED en respuesta a las necesidades de crecimiento de las plantas, lo que puede mejorar significativamente la eficiencia del sistema.

Los sistemas hidropónicos tienen el potencial de mejorar la productividad agrícola y garantizar la seguridad alimentaria a nivel mundial. La iluminación artificial es un factor

crítico en el crecimiento de las plantas en los sistemas hidropónicos, y la tecnología LED ofrece una solución prometedora y efectiva. Los trabajos futuros pueden centrarse en la optimización de la iluminación LED para mejorar la calidad y la cantidad de la producción de cultivos, y el uso de tecnologías avanzadas para aumentar aún más la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas hidropónicos. En este apartado se tratará sobre temáticas abordadas en diferentes artículos científicos relacionados con la iluminación artificial y su aplicación en sistemas hidropónicos.

#### **4.1. Iluminación artificial**

El artículo "Artificial light LED planting system design" (Diseño de sistema de plantación con luz LED artificial) publicado en 2017 en la revista *International Forum on Women's Studies*, proporciona una revisión exhaustiva sobre el estado actual de la optimización de la iluminación artificial para mejorar la producción de plantas. El cultivo de plantas bajo condiciones hidropónicas es una técnica cada vez más utilizada en la agricultura moderna. En estos sistemas, las plantas crecen en soluciones de nutrientes sin suelo, lo que reduce el uso de agua y la necesidad de fertilizantes. Además, el cultivo hidropónico permite el control de las condiciones ambientales, lo que se traduce en un mayor rendimiento y calidad de las plantas (Kim, 2017).

Uno de los aspectos clave en el cultivo hidropónico es la iluminación artificial. Las plantas necesitan luz para realizar la fotosíntesis, y la calidad y cantidad de la luz influyen directamente en su crecimiento y desarrollo. Por lo tanto, es fundamental optimizar la iluminación artificial en los sistemas hidropónicos para obtener el máximo rendimiento de las plantas. El artículo revisa los estudios más relevantes sobre la optimización de la iluminación artificial en sistemas hidropónicos. Los autores destacan que la cantidad de luz necesaria para el cultivo hidropónico depende de varios factores, como la especie de la planta, la edad de la planta, la densidad de plantación y la fase de crecimiento. Por lo tanto, es necesario adaptar la cantidad de luz a las necesidades de cada cultivo y etapa de crecimiento. Además de la cantidad de luz, la calidad de la luz también es importante en el cultivo hidropónico. La luz está compuesta por diferentes longitudes de onda, y cada una de ellas tiene un efecto diferente en el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, la luz roja y azul son esenciales para la fotosíntesis, mientras que la luz verde tiene poco efecto en el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, es fundamental utilizar una combinación adecuada de longitudes de onda para optimizar el crecimiento de las plantas. Prueba de esto es la imagen que se visualiza en la Figura 31, en donde se muestra

la diferencia de crecimiento de plantas cuando se modifica la luz en sus etapas de vida (Kim, 2017).

En el artículo se revisan diferentes tecnologías de iluminación artificial utilizadas en sistemas hidropónicos, como lámparas de vapor de sodio, lámparas de haluro metálico, LED y fluorescencia. Los autores destacan que los LED son una tecnología cada vez más utilizada en el cultivo hidropónico debido a su eficiencia energética y capacidad de emitir longitudes de onda específicas. Además, los LED pueden ajustarse fácilmente para adaptarse a las necesidades específicas de cada cultivo y etapa de crecimiento (Kim, 2017).

La optimización de la iluminación artificial en sistemas hidropónicos no solo implica la selección adecuada de la cantidad y calidad de la luz, sino también su distribución en la plantación. En este sentido, se revisan diferentes estrategias de distribución de luz, como la luz directa, la luz difusa y la luz intermitente. Los autores concluyen que la luz intermitente puede ser una estrategia efectiva para optimizar la iluminación en sistemas hidropónicos, ya que permite reducir la cantidad de luz necesaria y mejorar el rendimiento de las plantas (Kim, 2017).

Otro aspecto relevante que se aborda en el artículo es la importancia de la regulación de la duración y la intensidad de la luz en el cultivo hidropónico. La duración y la intensidad de la luz influyen en la tasa de crecimiento de las plantas y en su calidad, y deben ser controladas cuidadosamente para obtener el máximo rendimiento. Existen varios efectos de la luz en el metabolismo y la producción de compuestos bioactivos en las plantas. Los autores destacan que la calidad de la luz puede influir en la síntesis de compuestos como los flavonoides, los carotenoides y los ácidos grasos, que tienen propiedades antioxidantes y medicinales. Por lo tanto, la optimización de la iluminación artificial en los sistemas hidropónicos puede tener un impacto positivo en la calidad nutricional de las plantas (Kim, 2017).

Se sugiere la utilización de tecnología LED, la selección adecuada de la cantidad y calidad de la luz según el cultivo y la etapa de crecimiento, la distribución adecuada de la luz en la plantación, la regulación de la duración y la intensidad de la luz y la consideración de los efectos de la luz en la producción de compuestos bioactivos. Es destacable la importancia de adaptar la cantidad y calidad de la luz a las necesidades específicas de cada cultivo y etapa de crecimiento, y la utilización de tecnología LED y estrategias de distribución adecuadas. Además, se abordan los efectos de la luz en el metabolismo y la producción de compuestos bioactivos en las plantas, lo que subraya la

importancia de la optimización de la iluminación artificial en la calidad nutricional de las plantas (Kim, 2017).

#### **4.2. Propósito de la variación del color de la luz artificial**

Existen artículos que dan revisiones exhaustivas sobre el control de iluminación inteligente para el cultivo de plantas en interiores. El uso de la tecnología LED (diodos emisores de luz) se ha popularizado en la producción de plantas en interiores debido a su eficiencia energética, versatilidad y control preciso de la luz. Se destaca la importancia de un control preciso de la iluminación para mejorar el rendimiento de los cultivos y reducir los costos de energía. Los LED son una fuente de luz que consume menos energía que las fuentes de luz tradicionales y tienen una larga vida útil. Además, los LED pueden emitir diferentes longitudes de onda de luz, lo que permite un control preciso de la calidad y cantidad de la luz que reciben las plantas. Varios estudios previos han demostrado la importancia de la iluminación en el rendimiento de los cultivos de plantas en interiores. Un estudio encontró que la luz roja y azul promueve el crecimiento y la producción de clorofila en las plantas, mientras que la luz verde reduce la producción de clorofila. Otro estudio demostró que la luz azul y roja promueve la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas, mientras que la luz verde reduce la germinación de semillas (Li, 2013).

Se han evaluado diferentes enfoques de control de iluminación inteligente para el cultivo de plantas en interiores. Los autores describen tres enfoques principales: el control de iluminación basado en la respuesta de la planta, el control de iluminación basado en el modelo y el control de iluminación basado en la retroalimentación visual (Li, 2013).

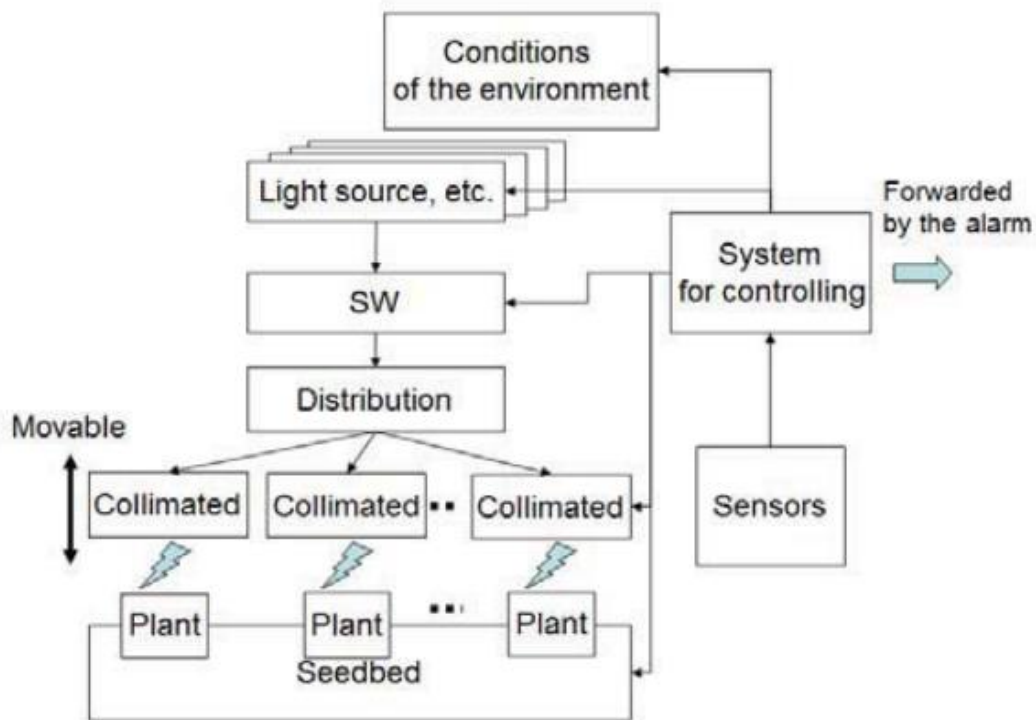
- El control de iluminación basado en la respuesta de la planta se basa en el monitoreo de la respuesta de la planta a diferentes longitudes de onda de luz y la adaptación de la iluminación en consecuencia. Este enfoque requiere un monitoreo constante de la planta y un ajuste de la iluminación en tiempo real.
- El control de iluminación basado en el modelo utiliza modelos matemáticos para predecir la respuesta de la planta a diferentes condiciones de iluminación. Este enfoque es menos costoso que el control de iluminación basado en la respuesta de la planta, pero requiere un conocimiento previo de la respuesta de la planta a diferentes condiciones de iluminación.
- El control de iluminación basado en la retroalimentación visual utiliza cámaras para monitorear el crecimiento de las plantas y ajustar la iluminación en consecuencia. Este enfoque es menos invasivo que los enfoques anteriores, ya que

no requiere un monitoreo constante de la planta y puede ajustarse de manera automática.

Existen algunos sistemas comerciales de control de iluminación inteligente para el cultivo de plantas en interiores, como Philips GreenPower LED, Valoya LED y Illumitex PowerHarvest. Estos sistemas utilizan diferentes enfoques de control de iluminación para mejorar el rendimiento de los cultivos y reducir los costos de energía. Ejemplo de estos sistemas se visualiza en la Figura 31 (Li, 2013).

**Figura 31**

*Ejemplo de sistema automatizado de control de plantación cerrada*



*Nota.* Tomado de *Proposed control system* [Imagen], (Li, 2013).

También se deben considerar otros factores ambientales en el cultivo de plantas en interiores, como la temperatura, la humedad y la concentración de dióxido de carbono. Dichos factores también deben ser controlados y monitoreados de manera precisa para mejorar el rendimiento de los cultivos, sobre todo si se pretende automatizar un sistema cerrado como un sistema hidropónico (Li, 2013).



## CONCLUSIONES

La introducción de la hidroponía en la ciudad de Loja ofrece una oportunidad significativa para mejorar la seguridad alimentaria, disminuir el impacto en el medio ambiente y fomentar la sostenibilidad en la producción de alimentos. Con beneficios como el ahorro de agua, el control preciso de los nutrientes y la optimización del espacio, la hidroponía tiene el potencial de revolucionar la forma en que se cultivan los alimentos en entornos urbanos.

La investigación detallada sobre los métodos de producción de plántulas en sistemas hidropónicos demuestra que el uso eficiente de recursos y el control de enfermedades son fundamentales para garantizar cosechas saludables y abundantes. La aplicación de tecnologías sofisticadas en cultivos hidropónicos requiere una evaluación económica cuidadosa para determinar el retorno de la inversión y la viabilidad a largo plazo para garantizar la sostenibilidad económica.

La incorporación de tecnologías como Internet de las cosas y computación en nube mejora la producción de cultivos hidropónicos, lo que facilita el seguimiento y el control de los procesos para mejoras continuas. Los procesos de irrigación por horarios en la hidroponía optimizan el crecimiento de las plantas y ayudan a ahorrar agua y cuidar el medio ambiente en general.

La socialización de proyectos de cultivos hidropónicos entre la comunidad educativa demuestra la importancia de enseñar prácticas agrícolas sostenibles y los beneficios de usar técnicas orgánicas en la producción de alimentos. La investigación sobre indicadores computacionales para evaluar la productividad de los cultivos hidropónicos destaca el papel que juegan los avances tecnológicos en la optimización de los procesos agrícolas y la toma de decisiones informadas. En la hidroponía, la poda adecuada ayuda a controlar la ramificación y promover un crecimiento saludable de las plantas. Esto demuestra lo importante que es prestar atención a cada etapa del cultivo para lograr la mayor producción posible.

Finalmente, la hidroponía emerge como una alternativa prometedora para la producción de alimentos en entornos urbanos como la ciudad de Loja, ofreciendo beneficios ambientales, económicos y sociales que pueden transformar positivamente el sistema alimentario local.

## Bibliografía

- Abad, A. C. F., Castillo Siche, L., García Farfán, M. J. G., Navarrete Vargas, M., y Plasencia Amaya, D. (2020). Diseño del proceso de implementación de cultivos hidropónicos en terrenos inutilizados en el distrito de Piur. [Trabajo de investigación, Universidad de Piura]. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4614/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_Hidroponicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4614/PYT_Informe_Final_Proyecto_Hidroponicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Araiza-Martinez, D. M., & Mora-Flores, M. R. (2019). Desarrollo de un sistema de control de iluminación para un sistema hidropónico usando Arduino. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(3), 177-190. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.011>
- Afreen, S., & Khan, S. A. (2019). Hydroponics and its Contribution in Agriculture: A Review. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*, 5(2), 28-33. doi: 10.11648/j.ijapas.20190502.11
- Aguilar Mario, Guillen Lucio y Rodríguez Ambrosio. (2015) *La hidroponía como alternativa sustentable en la comunidad indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro; aplicación en la producción de jitomate (Lycopersicon esculentum)*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Campo Experimental Uruapan.
- Allen, RG; Pereira, LS; Raes, D; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO-56. Riego y Drenaje. Roma, Italia. 323 p.
- Álvarez-Pérez, S. P.-A.-M.-S. (2021). Effects of different nutrient solution management modes on lettuce growth, nutrient uptake, and water use efficiency in hydroponics. *Journal of Plant Nutrition*, 44(6), 1113-1123.
- Arduino. (2022). Arduino IDE. <https://www.arduino.cc/en/software>

- Arduino. (2022). Getting started with Arduino. <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>
- Arduino. (2022). What is Arduino? <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- DHT22. (2022). DHT22 datasheet. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. [https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)
- Barros, F. L. (2021). Nutrient solution formulation for hydroponic lettuce cultivation in the Brazilian semiarid region. *Revista Caatinga*, 34(2), 534-542.
- Berkhout, J., Lamers, M., Pot, C., & Jansen, J. (2018). Plant factory versus greenhouse: Comparison of energy use for lettuce production. *Energy*, 154, 141-153. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.003>
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 p.
- Bures, S. & Urrestarazu M. (2018). Iluminación artificial en la agricultura, volumen 1, Biblioteca Horticultura, Editorial SPE3
- Banerjee, S. (2018). An overview of the Arduino microcontroller platform. *International Journal of Computer Applications*, 180(30), 38-43. <https://doi.org/10.5120/ijca2018917692>
- Bugbee, B. (2016). Future of Plant Growth and Lighting. *HortScience*, 51(10), 1117-1125. doi: 10.21273/HORTSCI10846-16
- Cosquillo, M. (2015) *Hidroponía: la mejor alternativa contra la mala nutrición*, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.
- Contreras, N. (2022). *¿Qué son las hidroponías?* <https://www.coursehero.com/file/183582434/A1-HIDROPINICOS-NJCM-TSBIpdf/>

- Chang, C., Zou, H., Li, P., Zhang, Y., & Li, Y. (2017). Research progress and perspectives of atmospheric control technology in soilless cultivation systems. *Journal of Plant Nutrition*, 40(9), 1252-1265. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1300741>
- Chen, Y. W. (2021). Effects of different nutrient solutions on growth, yield, and quality of tomato in hydroponics. *Journal of Plant Nutrition*, 44(8), 1479-1487.
- De Lucia, B., Colla, G., & Roupshael, Y. (2018). Innovative Applications for Arbuscular Mycorrhizas in Plant Production for Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 8(12), 279. doi: 10.3390/agronomy8120279
- Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierec, J., Pelleschi-Travier, S., ... & Guérin, V. (2016). Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 4-21.
- FAO. (2019). Hydroponic greenhouse crop production. Retrieved from <http://www.fao.org/3/i8497en/I8497EN.pdf>
- Gaudreau. (2018). *Lighting for plant growth*. Kent State University.
- Gómez, C., Batista, A., & Sánchez-Montesinos, B. (2018). A review of nutrient solution recycling techniques for soilless vegetable production. *Agronomy*, 8(7), 119. <https://doi.org/10.3390/agronomy>
- Gómez, C., Lasa, B., García-Sánchez, F., & Urrestarazu, M. (2019). Development of a low-cost and open-source monitoring system for hydroponics in agriculture. *Sensors*, 19(8), 1781. doi: 10.3390/s19081781
- Gómez-Caravaca, A. M., Castillo, J. M., & Luque de Castro, M. D. (2019). Emerging trends in hydroponics and its contribution to food security. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 81-93. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.011>
- Gómez-López, M. D.-C.-S.-V. (2021). Uso de tecnología en la producción de cultivos hidropónicos en México. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 29-37.
- Gómez, M. A. (2018). Evaluación del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.) mediante el sistema NFT. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 313-324. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.8167>

- Guzmán, G. (2014) *Hidroponía en casa: una actividad familiar*, San José, México.
- FAO. (2003). *La Huerta Hidropónica Popular*. <https://www.fao.org/3/ah501s/ah501s.pdf>
- H. M. Gohil, V. M. (2019). Artificial intelligence-based hydroponic farming for food security. Singapoure: Springer.
- Hanna, E. (2022). *¿Cómo funcionan las luces hidropónicas?*  
<https://www.hannacolombia.com/agro/blog/item/como-funcionan-las-luces-hidroponicas>
- Ho, C. S., Li, M. S., & Chao, Y. H. (2020). Artificial intelligence in hydroponics: A review. *Sensors*, 20(21), 6229. doi: 10.3390/s20216229
- INTAGRI. (2018). Disponibilidad de Nutrimientos y el pH del Suelo. *Artículos Técnicos de INTAGR*(Núm. 113), 4. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimientos-y-el-ph-del-suelo>
- Janse, J., Vermeulen, T., Houter, G., & Molendijk, L. (2017). Control of the nutrient film thickness in a nutrient film technique system for lettuce cultivation. *Acta Horticulturae*, 1156, 279-284
- Jin, H., Chen, X., Li, Y., Liu, T., & Li, X. (2019). Development of an intelligent control system for hydroponic vegetable cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105012. doi: 10.1016/j.compag.2019.105012
- Kim, D. H. (2019). A study on the integration of data from sensors and controllers in a cyber-physical system for smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 50 <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.02.002>, 9-18.
- Kim, H. H., Goins, G. D., & Wheeler, R. M. (2017). Sustaining life support systems: The potential of potassium silicate as a pH buffer and silicon source in hydroponics. *Advances in Space Research*, 60(3), 555-566. doi: 10.1016/j.asr.2016.11.023

- Kim, Y., Lee, J., & Park, H. (2017). Effects of nutrient solution flow rates on growth and nutritional quality of lettuce in a nutrient film technique system. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 35(4), 454-460.
- Kim, H. H., Wheeler, R. M., Sager, J. C., & Yorio, N. C. (2005). Assessment of lettuce growth and photosynthetic response under different wavelengths of light-emitting diodes (LEDs). *HortScience*, 40(2), 396-400.
- Koontz, H. (2019). *Hydroponics: A beginner's guide to building your own hydroponic garden*. HarperCollins. Principio del formulario
- Lefsrud, M. G. (2017). Hydroponic lettuce production systems: state of the art and future challenges. *Acta Horticulturae*, (1154), 157-164.
- Lefsrud, M. G. (2017). Hydroponic lettuce production systems: state of the art and future challenges. *Acta Horticulturae*, (1154), 157-164
- Li, Q., & Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 59-64. doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.06.007
- Li, Q., Kubota, C., & Xu, X. (2013). A survey on intelligent lighting control for indoor plant cultivation. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 61(10), 2475-2487
- Li, Y. J. (2020 ). Intelligent Sensor and Controller Integration for Smart Manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 16(5) <https://doi.org/10.1109/TII.2020.2972086>, 3125-3136.
- Massa, G. D., Kim, H. H., & Wheeler, R. M. (2014). Effects of red, blue, and white light-emitting diodes on lettuce grown under a short photoperiod. *HortScience*, 49(3), 327-333. doi: 10.21273/HORTSCI.49.3.327
- Miranda Castañeda, J. A. (2019). Nutrients Monitoring in Hydroponic Systems Using Internet of Things Technologies. In *Smart Farming Technologies for Sustainable Agricultural Development*. En J. A. Miranda Castañeda, *Nutrients Monitoring in Hydroponic Systems Using Internet of Things Technologies*. In *Smart Farming*

- Technologies for Sustainable Agricultural Development* (págs. 223-236). Cham: Springer.
- Mirza, M. U. (2021). Optimizing nutrient composition and solution preparation for hydroponic cucumber production. *ournal of Plant Nutrition*, 44(9), 1837-1849.
- Mitchell, C. A., Both, A. J., & Burr, J. F. (1991). Light-emitting diodes in horticulture. *HortScience*, 26(2), 203-205.
- OpenMV. (2022). What is the NodeMCU? Retrieved from <https://openmv.io/blogs/news/what-is-the-nodemcu>
- Parent, S. (2023). *¿Cómo influye la humedad en la calidad de los cultivos?* <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-influye-la-humedad-en-la-calidad-de-los-cultivos/>
- Pastor, N. (2015) *Utilización de sustratos en viveros*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México.
- Pérez-Ruíz, M. G.-S.-D.-G. (2021). Uso de tecnologías de inteligencia artificial en la hidroponía: aplicaciones y perspectivas futuras. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 40(1).
- Ramírez, Chávez, Rodríguez, Et al. (2015) *La hidroponía como recurso sustentable en la comunidad indígena de San Juan Nuevo Parangaricuticu*, Instituto nacional de investigaciones forestales. Agrícolas y pecuarias del centro de investigación regional del pacífico, México.
- Sánchez-Velázquez, L. D.-M.-L. (2019). Hydroponics as an alternative method for vegetable production. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*, 10(7), 1509-1520.
- Setchell. (s.f.). *Manual de hidroponía*. <https://www.guao.org/sites/default/files/biblioteca/Manual%20de%20hidropon%C3%ADa.pdf>
- Singh, B. D. (2020). Hydroponic technology for vegetable production: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 675-693.

- Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 139-147.
- Smith, J. K., & Jones, A. R. (Año). Comparative analysis of hydroponic lettuce production: A case study on profitability. *Journal of Hydroponics*, 10(2), 45-62. DOI o URL (si está disponible).
- T.M.B. Díaz, L. S. (2020). Automatic Hydroponic System Monitoring Using Internet of Things. In *Computational Intelligence for Engineering Systems*. En L. S. T.M.B. Díaz, *Automatic Hydroponic System Monitoring Using Internet of Things*. In *Computational Intelligence for Engineering Systems* (págs. 109-118). Singapore: Springer.
- ThingSpeak. (2022). About ThingSpeak. <https://thingspeak.com/docs/about>
- ThingSpeak. (2022). ThingSpeak documentation. <https://thingspeak.com/docs/>
- Tomasi, N. F. (2020). Influence of nutrient solution composition on growth, quality and sensory characteristics of hydroponic lettuce. *European Journal of Horticultural Science*. doi: 10.17660/eJHS.2020/85.4.6, 252-259.
- Vázquez, P. M., Salinero Corral, C., Pérez Otero, R., & Iglesias Vázquez, C. (2019). *Medidas Agroambientales*. Obtenido de [https://mediorural.xunta.gal/sites/default/files/publicacions/2019-10/medidas\\_agroambientales.pdf](https://mediorural.xunta.gal/sites/default/files/publicacions/2019-10/medidas_agroambientales.pdf)
- Zárate, M. (2015) *Manual de hidroponía*, Universidad autónoma de México.



-Editorial-  
**CILADI**  
Centro de Investigación Latinoamericano  
para el Desarrollo e Innovación

ISBN: 978-9942-7217-5-4

