

Automated hydroponic greenhouse customized for family nutrition using plants varieties

María Elizabeth Puelles Bulnes, Mg¹, Jorge Luis Inche Mitma, Dr², Vicente Agustin Atoche Espinoza, Dr³, Angie Lissette Atoche Puelles, Mg⁴, Juan Carlos Miguel Ángel González Lévano, Mg⁵, Yna Levy Cristobal Espinoza, Mg⁶, Yair Augusto Atoche Puelles, Estudiante⁷.

^{1,5}Ricardo Palma University, Perú, maria.puellesb@urp.edu.pe, jkma0116@gmail.com

^{2,3,6}National Major San Marcos University, Perú, jinchem@unmsm.edu.pe, vatochee@unmsm.edu.pe, yna.cristobal@unmsm.edu.pe, ⁴Federal University of Minas Gerais, Brazil, angie.puelles@gmail.com, ⁷Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Brazil, augusto.yair@gmail.com

Abstract

This article presents an innovative design for an Automated Hydroponic Greenhouse (AHG), conceived to optimize the cultivation of a wide range of plants and vegetables for home use at a low cost. This system is customized according to the specific needs of various types of vegetation and offers an efficient alternative for the production of fresh, uncontaminated food in limited spaces. The research covers the selection of materials used, analysis of hydroponic systems, analysis of the nutrient solution, complete configuration of the hydroponic system, and automation components. Among all existing types of hydroponic systems, the Nutrient Film Technique (NFT) stands out as the most widely used due to its low cost, ease of construction, and acquisition. Two prototypes with the NFT system have been tested and proven effective in water and nutrient usage. Subsequently, automation has enabled precise control of environmental conditions such as temperature, humidity, light, turbidity, and actuators. The AHG with the Nutrient Film Technique (NFT) is efficient, adaptable, and easy to use, making it an attractive option for individuals seeking to cultivate their own food sustainably and represents a significant advancement in domestic cultivation technology.

Keywords: Greenhouse, Automation, Hydroponics, Vegetables, Home, S Sustainable Production.

Invernadero Automatizado por hidroponía personalizada para una variedad de plantas para alimentación familiar

María Elizabeth Puelles Bulnes, Mg¹, Jorge Luis Inche Mítma, Dr², Vicente Agustín Atoche Espinoza, Dr³, Angie Lissette Atoche Puelles, Mg⁴, Juan Carlos Miguel Ángel Gonzáles Lévano, Mg⁵, Yna Levy Cristóbal Espinoza, Mg⁶, Yair Augusto Atoche Puelles, Estudiante⁷.

^{1,5}Universidad Ricardo Palma, Perú, maria.puellesb@urp.edu.pe, jkma0116@gmail.com

^{2,3,6}Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, jinchem@unmsm.edu.pe, vatochee@unmsm.edu.pe, yna.cristobal@unmsm.edu.pe, ⁴Universidade Federal Minas Gerais, Brasil, angie.puelles@gmail.com, ⁷Pontificia Universidade Católica De Minas Gerais, Brasil, augusto.yair@gmail.com

Resumen

El artículo presenta un diseño innovador de invernadero automatizado por hidroponía (IAH), ideado para optimizar el cultivo de una amplia gama de plantas y vegetales para el hogar y a bajo costo. Este sistema es personalizado según las necesidades específicas de diversos tipos de vegetación y ofrece una alternativa eficiente para la producción de alimentos frescos en espacios limitados y libre de contaminación. La investigación cubre la elección de los materiales utilizados, análisis de los sistemas hidropónicos, análisis de la solución nutritiva, la configuración completa del sistema hidropónico y componentes de automatización. Entre todos los tipos de sistemas existentes en la hidroponía se destacan la Técnica de Película de Nutrientes (NFT), que es el más utilizado por su bajo costo, fácil de construirlo y adquirirlo. Se ha experimentado dos prototipos con el sistema NFT y demostraron ser efectivos en el uso del agua y los nutrientes. Luego, llevando a cabo la automatización, ha permitido un control preciso de las condiciones ambientales tales como temperatura, humedad y luz, turbidez y actuadores. El IAH con la Técnica de NFT, es eficiente, adaptable y fácil de usar, lo que lo convierte en una opción atractiva para personas que buscan cultivar sus propios alimentos de forma sostenible y representa un avance significativo en la tecnología de cultivo doméstico.

Palabras claves: Invernadero, Automatización, hidroponía, vegetales, hogar, producción sostenible.

I. INTRODUCCION

Actualmente, la industria de la producción agrícola enfrenta algunos desafíos complejos, como la erradicación de los agrotóxicos utilizados en los cultivos. Existe una tendencia creciente en el uso de plaguicidas de síntesis química, especialmente en los países de América Latina, donde se considera que el control químico es el método principal para abordar el problema de las plagas. Es importante valorar la agricultura como un agente de desarrollo, dado su papel crucial como proveedor de alimentos [1], [2] y [3]. Actualmente, la alimentación saludable es una tendencia global de consumo, ya que se le otorga cada vez más importancia a llevar un estilo de vida saludable que incluya una alimentación adecuada. Los autores [4], [5] y [6] resaltan que la sostenibilidad y la alimentación saludable serán los pilares fundamentales en el consumo de alimentos en las próximas décadas.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Por ende, es crucial promover una producción más eficiente que demande menos recursos y genere un menor impacto ambiental.

La integración de la Agricultura 4.0, que abarca la digitalización y el uso de tecnologías avanzadas como la robótica, la inteligencia artificial y el IoT, es clave para obtener invernaderos hidropónicos domésticos [7], [8] y [9]. La implementación de invernaderos en casa representa una evolución significativa que aumenta la eficiencia, productividad y sostenibilidad en la producción de alimentos. Esta práctica aborda desafíos importantes como el crecimiento demográfico, la escasez de recursos, el cambio climático y el desperdicio de alimentos. Adoptando invernaderos domésticos, podemos optimizar el uso de recursos y avanzar hacia un sistema de producción alimentaria más eficiente y sostenible [7],[10] y [11].

Por tal motivo, es importante implementar medidas que beneficien a nuestra salud, aplicando tecnología, como los invernaderos automatizados hidropónicos personalizados con el sistema NFT [8] y [9]. Estos sistemas no solo han demostrado ser económicos y práctico para el cultivo de una variedad de vegetales en el hogar, sino que también utilizan soluciones ricas en nutrientes en un ambiente controlado, todo dentro de la comodidad de una residencia. La tecnología juega un papel importante, ya que permite controlar automáticamente aspectos importantes, como las condiciones ambientales y el suministro de nutrientes entre otros. Además, puede facilitar la monitorización remota a través de aplicaciones móviles, permitiendo a los usuarios ajustar configuraciones y recibir alertas sobre el estado de sus cultivos desde cualquier lugar. También, reduce la necesidad de intervención manual y garantiza condiciones ideales para el crecimiento de las plantas y mejora significativamente la salud y la productividad de los cultivos.

II. OBJETIVO

El objetivo principal es la desarrollar un Invernadero IAH y personalizado según la necesidad del usuario, lugar y espacio en el hogar con la posibilidad de obtener sus propias verduras. La investigación incluye desde la elección del material del invernadero hasta el diseño del sistema de automatización y control. Esto permite a personas sin experiencia previa en plantas y cultivo disfrutar de un entorno controlado donde las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas son mantenidas automáticamente. En la automatización, se busca

facilitar el cultivo de plantas de manera sencilla y efectiva, eliminando la necesidad de conocimientos especializados en horticultura y permitiendo a los usuarios disfrutar de una experiencia de jardinería más accesible y exitosa.

III. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En las naciones del noroeste de Europa en las últimas décadas, la aplicación de la hidroponía ha ido en aumento debido a las condiciones desfavorables del suelo. Además, la legislación en países como los Países Bajos y Alemania ha prohibido la producción en invernaderos mediante la administración directa de sustrato de suelo debido al riesgo de contaminación de aguas subterráneas, siendo el cultivo hidropónico o el cultivo sin suelo la opción más viable en el desarrollo de la actividad agrícola en invernaderos [12]. Gracias a los diferentes avances tecnológicos, se han desarrollado diferentes formas que facilitan el uso de este método de cultivo, como es el caso del autor [13] en lo cual realiza la optimización de automatización de las condiciones ambientales, temperatura, nutrientes y luminosidad usando un pequeño prototipo de un invernadero hidropónico. El dispositivo también realiza el seguimiento del crecimiento y control de las plantas a través de una cámara y un software de procesamiento de imágenes, que no solo mostraba el progreso del crecimiento de las plantas, sino también las condiciones ambientales en las que se desarrollaba. Además, permitía al usuario acceder a información e imágenes en tiempo real de lo que sucedía en el invernadero desde cualquier lugar a través de internet, lo que facilita el cuidado de las condiciones en el prototipo y, por lo tanto, del cultivo. Hoy en día existen instalaciones industriales [14], conocidas como “fábricas verdes”, ubicadas en la bahía de Tokio, Japón, son capaces de producir hasta 1.000 cabezas de lechuga al día. Estos entornos están altamente controlados debido a un conjunto de sensores y actuadores que regulan la iluminación, temperatura, nutrientes, calidad del agua y niveles de CO₂. Adicionalmente, disponen de sistemas de calefacción, ventiladores y aire acondicionado que mantienen condiciones climáticas óptimas dentro de las instalaciones, asegurando una concentración de 1.000 ppb (partes por millón) de dióxido de carbono, junto con tubos LED que funcionan de 16 a 17 horas al día, realizando mediciones constantes de la calidad del agua que circula por el invernadero.

La designación del 2021 como Año Internacional de las Frutas y Verduras por parte de la Organización de las Naciones Unidas tuvo como objetivo difundir y fomentar el consumo de estos alimentos hidropónicos. A pesar de ello, según CONEVAL, en el año 2020, únicamente el 56% de los hogares en México tenía la posibilidad de incluir frutas y verduras en su dieta diaria por los precios de las verduras. Entre todos los tipos de sistemas existentes en la hidroponía se destacan el sistema NFT, que es el más utilizado por su bajo costo y fácil de adquirirlo, luego el sistema de la raíz flotante y el sistema de sustrato; los cultivos hidropónicos más rentables son la lechuga, el pepino, el tomate y el pimiento. Finalmente, habiendo una considerable disminución de las áreas de tierras

agrícolas en países en vías de desarrollo, hace que el método de la hidroponía sea una opción interesante e importante como una estrategia de producción especialmente en zonas urbanas. Dentro del contexto de la llamada agricultura urbana, se considera una excelente propuesta para la reducción de la pobreza y como una manera de apoyar el ingreso familiar a través del autoempleo en las propias viviendas o en los centros comunales a través de una alimentación saludable [10].

IV. METODOLOGÍA

El trabajo corresponde a una propuesta desarrollada con el fin de identificar las variables, requisitos e instrumentos necesarios en el proceso de automatización para un invernadero hidropónico que fue construido en el hogar [7]. Se llevó a cabo un estudio de los factores que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas en el mencionado entorno, para luego identificar en cuáles de estas variables se podrían realizar acciones de medición y control, estableciendo el tipo de sensores posibles a utilizar de acuerdo con las condiciones climáticas del área y por estación.

4.1 Selección del Sistema Hidropónico

Existen seis tipos principales de sistemas hidropónicos, los cuales se diferencian principalmente por el método que utilizan para suministrar la solución nutritiva a las plantas [15]. A continuación, presentaremos diferentes tipos de sistema hidropónicos: En la Figura 1, a), muestra la técnica más extendida NFT, que se compone de un sistema de canales, usualmente fabricados con tubos de PVC. Se mantiene un flujo constante de la solución nutritiva y las macetas o vasos pequeños con hidrocultivo que están llenas de arcilla (opcional) pero con agujeros en el PVC con la dimensión del vaso para que las raíces puedan pasar. En la parte inferior hay un tanque o reservatorio para colocar la solución nutriente. Además, cuenta con una bomba que facilita el movimiento de la solución y la nutrición de las plantas. La configuración del sistema permite el transporte los nutrientes desde la parte inferior del tanque hacia las raíces de las plantas y luego vuelva al tanque de origen. Aunque este sistema hidropónico es uno de los más comunes, es muy sensible a fallos en las bombas y en la energía eléctrica.

En la parte b), se observa el sistema de cultivo en aguas profundas (DWC) o raíz flotante, tratase de un sistema de alta en términos de crecimiento de las plantas especialmente la lechuga y uso de nutrientes. En este método, las plantas se encuentran en una lámina o balsa, que flota sobre la solución nutritiva, de modo que sus raíces están sumergidas dentro de la solución todo el tiempo. Es necesario, una bomba de aire para proporcionar oxígeno a las raíces para su óptimo desarrollo. Éste es uno de los sistemas hidropónicos más simples y baratos y es muy popular en los salones de clases y en actividades con fines didácticos. Las plantas, particularmente aquellas que tienen ciclos de crecimientos rápidos y sistemas radiculares menos extensos mas comunes que se pueden cultivar con DWC: hierbas aromáticas: culantro, la menta y el perejil. También la espinaca, acelga, kale y no muy comunes los rábanos.

Sin embargo, puede ser menos práctico en casas con espacio limitado debido a la necesidad de tanques grandes para almacenar la solución nutritiva. En la parte c), es el sistema

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

hidropónico más simple que no requiere electricidad, bomba ni aireadores. Las plantas se colocan en un medio absorbente como la vermiculita, fibra de coco o perlita con una mecha (nailon/algodón) que va desde las raíces de las plantas hasta un depósito de solución nutritiva. El agua o la solución nutritiva son suministradas a las plantas por acción capilar, no es efectivo para aquellas que necesitan mucha agua. Este sistema funciona bien para plantas pequeñas, hierbas y especias, tales como plantas de interior: hiedras, cintas y helechos, plantas de exterior: geranios, petunias, pensamientos y caléndulas, plantas aromáticas: albahaca, romero, tomillo y menta, plantas comestibles: tomates, pimientos, lechugas y fresas.

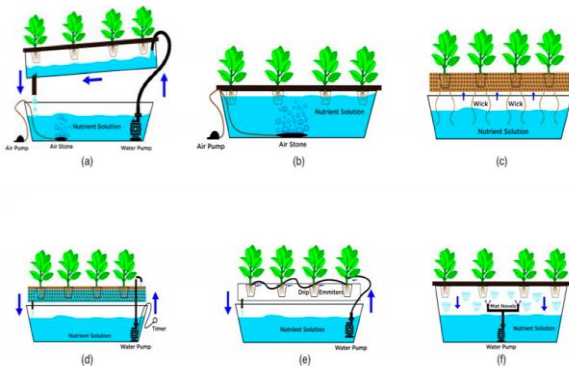


Figura 1: Diferentes Sistemas Hidropónicos [15]: (a) Técnica de Película de Nutrientes (NFT), (b) Cultivo en aguas profundas (DWC), (c) Sistema de mecha, (d) Sistema de flujo y reflujos, (e) Sistema de goteo, (f) Sistema aeropónico.

En la parte d), en un Sistema de flujo y reflujos, las macetas contienen un sustrato inerte como fibra de coco, vermiculita, rocas de cultivo, grava o lana de roca granulada, permitiendo anclar las raíces y se drena lentamente. Las macetas se ponen en una bandeja de cultivo, que se coloca sobre un tanque de agua rica en nutrientes. Esta agua se bombea desde el depósito hacia la bandeja de cultivo, donde fluye hasta las raíces a través de unos agujeros en las macetas. Luego, el agua se drena lentamente, y vuelve al depósito mediante la fuerza de la gravedad. Entonces se deja un período de tiempo para que las raíces se sequen y se oxigenen. Luego se utiliza un temporizador para mantener el flujo de agua y cuando comienza el cronómetro, una bomba sumergida en el depósito comienza a bombear agua al recipiente (bandeja de cultivo) colocado en la parte superior. El bombeo continúa durante períodos cortos (generalmente de 5 a 10 minutos) hasta que las raíces de las plantas alcanzan un límite de agua específico establecido. El sistema de reflujos es una técnica de riego versátil que se puede utilizar para regar una amplia variedad de cultivos. Es una forma eficiente de regar cultivos. En cuanto a los tipos de plantas más comunes que se cultivan con este sistema son: maíz, soja, algodón, tomates, pimientos, pepinos, sandías, melones, calabaza y calabacín. En la parte e), es un método de riego que consiste en aplicar agua directamente a la raíz de las plantas, gota a gota, a través de una red de tuberías y emisores. Este

sistema permite ahorrar agua y fertilizantes, ya que el agua se aplica de forma localizada y no se desperdicia. Cuenta con una bomba sumergible, los usuarios deciden la cantidad de solución nutritiva que necesita cada planta también utiliza un temporizador para controlar toda la operación, cuando se le enciende la solución nutritiva gotea a través de una línea de goteo en las raíces de la planta. Estos tipos de sistemas son de dos tipos: por goteo con o sin recuperación la solución nutritiva. Hay diferentes tipos de plantas que se pueden regar por goteo, entre ellas: árboles y arbustos, plantas de huerto, plantas de interior. En general, el riego por goteo es un método de riego eficiente y sostenible que se puede utilizar para regar una amplia variedad de plantas. En la parte f), el sistema aeropónico es reconocido por la NASA al igual que NFT, ambos utilizan el aire como principal medio de cultivo. Como solución nutritiva para el crecimiento de las plantas, utiliza desechos de pescado y agua. También requiere bomba de agua a buena presión HPA y LPA y mangueras. Los tipos de plantas que se pueden cultivar en un sistema aeropónico son muy variados, pero algunos de los más comunes son: hortalizas de hoja verde, como lechuga, espinaca y acelga; hierbas aromáticas, como albahaca, menta y cilantro; frutas, como fresas y tomates o flores, como orquídeas y rosas [16] – [18].

Cada uno de estos sistemas tiene ventajas que pueden hacerlo más atractivo dependiendo de las necesidades específicas del cultivador y del espacio disponible en casa. El DWC y NFT suelen ser los favoritos por su relativa simplicidad y efectividad, mientras que los sistemas de mechas y goteo son excelentes para quienes buscan una opción de bajo mantenimiento o para cultivar plantas específicas que necesitan más cuidado. Al considerar el cultivo hidropónico en un departamento, donde el espacio suele ser más limitado y la facilidad de mantenimiento es clave, el sistema más apropiado sería el de sistema NFT.

En el caso, de la hidroponía NFT para uso doméstico, es importante tener en cuenta la clasificación de las verduras o hortalizas según sus características. Algunas plantas se clasifican según el tipo de tallo que poseen: tallo grueso (Apio, Acelga, Col rizada, Coliflor, etc.) o tallo delgado (Culantro, Cebollina, perejil, eneldo, puerro, etc.). Esta distinción en la clasificación de las verduras no solo ayuda a identificarlas, sino que también influye en su cultivo y cuidado en un sistema de hidroponía NFT en casa y las especificaciones de las dimensiones en la construcción del invernadero [19].

La diversidad de cultivos son excelentes opciones para cultivar plantas en espacios reducidos, ya que no requiere mucho espacio y es muy eficiente. Además, es un método de cultivo sostenible, ya que no utiliza suelo y requiere menos agua y fertilizantes que los métodos tradicionales. Todos requieren de cuidado, limpieza y mantenimiento constante.

4.2 Requerimiento Físico químico que las verduras que requieren en la hidroponía.

El agua es esencial para las plantas, dependen de ella para realizar la fotosíntesis, que es uno de los principales procesos fisiológicos de los vegetales, un proceso que transforma la energía solar, nutrientes y dióxido de carbono del aire en oxígeno y azúcares para las verduras. Por otro lado, la

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

deshidratación de las plantas puede causar un estrés hídrico, que, según su intensidad y duración prolongada, puede repercutir en el crecimiento y en el rendimiento y llegar a la muerte. El agua debe fluir en intervalos de tiempo, desde un recipiente instalado que contiene la solución nutritiva hacia todos los lugares que se encuentran las verduras y las moléculas de agua permanecen en ella, a veces sólo minutos. En esta circulación de la solución nutritiva debe contener características morfológicas y fisiológicas según la especie vegetal y de las condiciones ambientales como la temperatura y humedad relativa. Cuanto mayor es la transpiración, más agua necesita la planta para mantener su turgencia; de lo contrario, debe reducir la transpiración cerrando sus estomas para evitar la pérdida de agua, lo que lleva a la pérdida de turgencia y marchitamiento, así como a la pérdida de minerales esenciales ocasionado estrés en la planta. Este estrés reduce el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, ya que las estomas capturan dióxido de carbono (CO₂) y si no están completamente abiertos, la actividad fotosintética se reduce o incluso se detiene. Los nutrientes minerales esenciales para las plantas se suministran únicamente mediante la solución nutritiva en hidroponía, que se prepara disolviendo sales fertilizantes en agua. Por lo tanto, la correcta formulación y manejo de esta solución, así como la selección adecuada de fuentes de sales minerales solubles, son fundamentales para el éxito del cultivo hidropónico, en el sistema NFT, este factor es especialmente crucial, según [20]. En la Tabla 1, se aprecian los macronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre que son vitales para el desarrollo vegetal, la fotosíntesis y la floración. Los micronutrientes tales como el hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno y boro, son esenciales para las plantas, aunque en cantidades mucho menores que los macronutrientes. Ellos cumplen funciones críticas en los procesos biológicos y metabólicos de las plantas, tales como la síntesis de clorofila (en el caso del hierro), la activación de ciertas enzimas, la regulación del crecimiento y el desarrollo de las plantas. Una deficiencia o exceso de estos puede causar problemas serios en el desarrollo de la planta, por lo que su balance adecuado en las soluciones nutritivas es clave para un cultivo hidropónico saludable.

En cuanto a los fertilizantes utilizados, ver Tabla 2, los nitratos, sulfatos, ácido bórico y molibdato de amonio proporcionan de forma solubilizada los nutrientes esenciales que las plantas normalmente obtendrían del suelo. Los nitratos y sulfatos son fuentes de nitrógeno y azufre, respectivamente, que son fundamentales para el crecimiento de las plantas y la producción de proteínas.

El ácido bórico y el molibdato de amonio aportan boro y molibdeno, respectivos micronutrientes que las plantas usan en cantidades traza para procesos como el desarrollo celular y el metabolismo del nitrógeno.

La hidroponía requiere estos fertilizantes en formas y cantidades específicas porque las plantas solo pueden absorber nutrientes en solución acuosa y porque estos compuestos proporcionan una disponibilidad inmediata de nutrientes para el rápido crecimiento y desarrollo de las plantas.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

La acumulación de los sulfatos aumenta la concentración de sales que puede inhibir la absorción de agua por las plantas.

Tabla 1: Elementos minerales esenciales para las plantas [20]

Elemento mineral	Símbolo químico
MACRONUTRIENTES	
Nitrógeno	N
Fósforo	P
Potasio	K
Calcio	Ca
Magnesio	Mg
Azufre	S
MICRONUTRIENTES	
Hierro	Fe
Manganeso	Mn
Zinc	Zn
Boro	B
Cobre	Cu
Molibdeno	Mo
Cloro	Cl

Tabla 2: Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía [21]

Nombre químico	Solubilidad (gr /litro)
Nitrato de calcio	1220
Nitrato de potasio	130
Nitrato de magnesio	279
Fosfato Mono potásico	230
Sulfato de magnesio	710
Sulfato de potasio	111
Sulfato de manganeso	980
Ácido bórico	60
Sulfato de cobre	310
Sulfato de zinc	960
Molibdato de amonio	430

En la formulación de soluciones nutritivas para el sistema NFT, se reconocen diversas propuestas por distintos autores. Estas formulaciones varían en las cantidades y tipos de fertilizantes empleados para suministrar los nutrientes, pero mantienen la uniformidad en los rangos de concentración óptima para cada elemento nutritivo. Estos estándares están reflejados y pueden ser consultados en la Tabla 3.

En la Tabla 3, se observan las concentraciones de los elementos nutritivos, expresados en partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/l) o gramos por 1000 litros (g/1000 l).

Al decidir sobre una formulación, es importante considerar el costo de la solución nutritiva. Estudios preliminares en lechugas para un sistema hidropónico han demostrado que no hay diferencias en el rendimiento y calidad del cultivo al usar las soluciones de Cooper, Wye y HHP (FAO).

Por lo tanto, basándonos en esta información, se recomienda elegir la opción más económica y fácil de corregir entre estas tres soluciones.

En la preparación de las soluciones [24], la calidad química del agua es crucial para el éxito de soluciones nutritivas adecuadas. Se recomienda realizar al menos un análisis químico del agua al comienzo del cultivo para determinar si hay una presencia significativa de ciertos elementos minerales, en caso positivo, se sugiere ajustar la formulación de la solución.

En la Tabla 4, se muestra cierto análisis que indica que el agua analizada contiene Calcio (Ca) en 36.8 ppm y Magnesio (Mg) en 5.6ppm. Luego la formulación escogida y la ajustada, para ello se realiza la siguiente ecuación (ppm) en (1):

$$Formulación_{ajustada} = Formulación_{Wye} - Análisis_{agua} \quad (1)$$

En la Tabla 5, se muestran las disminuciones del Nitrato Ca y el Nitrato de magnesio, pero el aumento con la concentración del Nitrato potasio (K). También muestra las concentraciones de las dos soluciones A y B. Cabe resaltar, que las correcciones deben ser analizadas según por los componentes químicos del agua y los costos de cada sal fertilizante.

Tabla 3. Rangos de concentración de elementos minerales por diversos autores. Columnas (1), (2), (3) y (7) en [22], (4) y (5) en [23], (6) en [24].

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48	-	64	158	68	-
Fe	2,5	2,8	3-6	3,8	3	12	2-4
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62
B	0,5	0,54	0-0,4	0,46	1	0,3	0,44
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02
Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,2	-

(1) Hoegländ y Arnon (1938)
(2) Hewitt (1966)
(3) Jensen (1963)
(4) Jensen (1963)
(5) Cooper (1979)
(6) Jensen (1963)
(7) Jensen (1963)

Una incorrecta formulación puede ocasionar una mayor concentración de la conductividad eléctrica (CE) ocasionada perdida en el desarrollo del cultivo [25]. La combinación de sales dependerá del cultivo y el estado de crecimiento de la verdura. La lechuga tiene márgenes de 2 a 2.5 mS/cm, el tomate acepta valores más alto a .5 mS/cm, ver Tabla 6.

Tabla 4: Ajuste de formulación de solución nutritiva [24]

Elemento	Análisis de agua (ppm)	Formulación de Solución Wye(*) (ppm)	Formulación ajustada (ppm)
N	0	165	165
P	0	35	35
K	0,9	339	339
Ca	36,8	78	41,2
Mg	5,8	23	17,2
S	0	49	49
Fe	0	5	5
Mn	0	0,2	0,2
B	0	0,11	0,11
Cu	0	0,1	0,1
Mo	0	0,03	0,03
Zn	0	0,14	0,14

4.3 Requerimiento iluminación en la hidroponía.

La luz es esencial para el proceso de fotosíntesis en las plantas, donde se convierte la luz en energía química que las plantas utilizan para crecer.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Tabla 5: Corrección solución Wye (g/L) [24]

Solución Wye * (g/l)	Solución Wye ajustada según análisis (g/l)
Solución Concentrada A:	
Nitrato de calcio	23,05
43,3	
Solución Concentrada B:	
Nitrato de potasio	113,9
Nitrato de magnesio	25,03
Monofosfato de potasio	20,7
Sulfato de potasio	36,65
4	4
Quelato de hierro	0,0125
Mezcla de quelatos	0,0125

Tabla 6: Niveles de conductividad eléctrica por cultivo

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

Es un factor determinante en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Proporcionar la cantidad adecuada de luz y el espectro correcto puede influir en la salud de las plantas, su tamaño, su ciclo de vida y la producción de flores y frutos. Sobre el control del ciclo de vida, la duración y la intensidad de la luz son cruciales para el ciclo de vida de las plantas tanto en la fase de crecimiento y en la fase de floración.

Si el invernadero se encuentra en lugares donde falta la luz natural o entornos de poca luz natural, la iluminación artificial es esencial para proporcionar a las plantas la cantidad de luz necesaria para su crecimiento saludable.

Por lo tanto, los requerimientos de la iluminación son esencial para la actividad fotosintética de las plantas, pero solo el espectro de luz visible es utilizado por la clorofila en la actividad metabólica, ver Figura 2. La clorofila da color verde a las plantas y se encuentra dentro de los cloroplastos, junto con carotenoides. Las plantas han evolucionado para convertir la energía solar en carbohidratos y azúcares, absorbiendo principalmente energía de las bandas de luz violeta-azul y roja, que coinciden con el rango de 400nm a 700nm (PPF) donde se estimula la fotosíntesis. La calidad y la intensidad de la luz deben ser óptimas. Los procesos metabólicos de la planta, como el crecimiento de tallos y hojas, la floración y la producción de frutas, están influenciados por longitudes de onda específicas. La luz ultravioleta (10mm – 400m), longitud de onda 350 mm promueve la acumulación de compuestos fenólicos y mejora la actividad antioxidante, pero no afecta significativamente el crecimiento; la luz azul (430mm-450mm) es responsable de promover el crecimiento vegetativo y la producción de compuestos aromáticos; la luz roja (640mm – 680mm) estimula la generación de carbohidratos y azúcares, mejorando el sabor y nutrientes de los cultivos y tiene un fuerte impacto en la germinación y floración [13].

En resumen, la iluminación adecuada en la hidroponía es esencial para garantizar un crecimiento óptimo, una producción saludable y el desarrollo adecuado de las plantas cultivadas en sistemas hidropónicos.

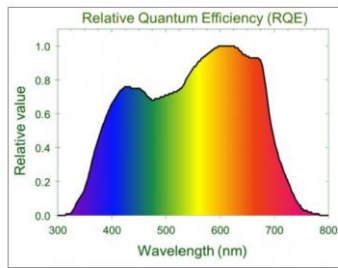


Figura 2. Eficiencia Cuántica Relativa
(https://www.canr.msu.edu/news/green_light_is_it_important_for_plant_growth)

4.4 Materiales para la Iluminación y calefacción.

Para reproducir la iluminación de un entorno natural, se seleccionaron los siguientes materiales con potencial para satisfacer la iluminación de las verduras:

- ✓ LED para cultivo interior: Tira de LED específica para el cultivo de plantas en interiores.
- ✓ Fuente de 12v para LED: Fuente de energía para alimentar la tira de LED.
- ✓ Lámpara de calefacción: Utilizada para calentar el ambiente de cultivo en días fríos.
- ✓ Casquillo E27 común: Soporte para encajar la lámpara o tira LED.
- ✓ Casquillo E27 cerámico: Alternativa más resistente para soporte de lámpara o tira LED en ambientes húmedos.
- ✓ Cable revestido: Cable eléctrico con recubrimiento para proteger el cableado y asegurar la seguridad en el sistema eléctrico.

Al no encontrar la LED especial de cultivo se reemplazó por un foco de cultivo LED Grow, Fitolamp para hidroponía.

4.5 Materiales para la Estructura física del Invernadero hidropónico.

Para diseñar una estructura física capaz de alojar diversos tipos de verduras con sistema NFT tipo vertical, para economizar espacio, costos y términos de practicidad, se seleccionaron los siguientes materiales:

- ✓ Tubo y tapa PVC de 100 mm, para la conducción de la solución nutritiva y el encaje de las plantas en sus respectivos vasos y para sellar el extremo del tubo de PVC de 100 mm respectivamente.
- ✓ Anillos de sellado de 100 mm: para asegurar un sellado hermético en la conexión entre el tubo y las tapas de PVC.
- ✓ Soporte o Abrazadera de tubo PVC de 100 mm, para fijar el tubo de PVC en alguna estructura.
- ✓ Manguera flexible de poliuretano (PU) de 8 mm, para la conducción de la solución nutritiva entre los niveles del sistema.
- ✓ Conector de 8 mm en ángulo de 90°: Conector con un ángulo de 90 grados para conectar las mangueras neumáticas en curvas y tuercas de 1/4", piezas para la fijación de los conectores neumáticos o válvulas.
- ✓ Caja organizadora de 20 L: Caja plástica que actúa como depósito de la solución nutritiva más el agua en circulación

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

- en el sistema NFT, para el tipo de verdura seleccionada.
- ✓ Filtro de tela de nylon, para retener impurezas y partículas sólidas en la solución nutritiva.
- ✓ 20x Esquinero de 30x30: 20 piezas de esquinero metálico con dimensiones de 30x30 mm y 40x tuerca martillo; 40 piezas de tuercas con sistema de bloqueo por martillo; tornillos M6 (Conjunto de tornillos con rosca M6, utilizados en conjunto con las tuercas martillo y los esquineros).
- ✓ Perfil de aluminio de 30x30 mm x1800 mm, utilizado para estructurar la huerta hidropónica; perfil de aluminio de 30x30 mm y longitud de 300 mm, utilizado para conexiones y fijaciones en la estructura de la huerta y perfil de aluminio con dimensiones de 30x30 mm y longitud de 700 mm, utilizado para estructurar la huerta hidropónica.

4.5.1 Tipos de Estructura física del Invernadero Hidropónico

A continuación, se presenta varias modelos de estructuras físicas según algunas necesidades de los usuarios.

Modelo 1: Si se desea realizar una estructura de 1.38cm x 1.20cm x 51cm, en la Figura 3, consta de cuatro tubos PVC para almacenar 20 plantas en vasitos (cada vasito 12 cm de distancia) y en cada nivel 10 plantas del tipo de verdura seleccionada. En cada nivel tiene su propio depósito de solución nutritiva:

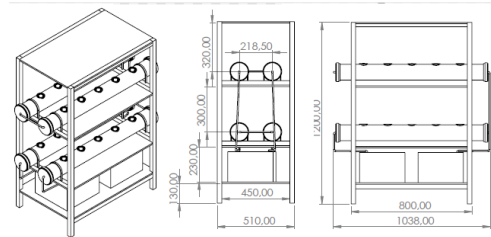


Figura 3. Modelo 1-Estructura física del invernadero con dos niveles (mm).

Modelo 2: Si se desea realizar una estructura de 1.60cm x 1.50cm x 36cm, en la Figura 4, consta de tres tubos PVC para almacenar 15 plantas en vasitos y en cada nivel puede variar de 5 a 10 plantas del tipo de verdura seleccionada. En cada nivel tiene su propio depósito de solución nutritiva:

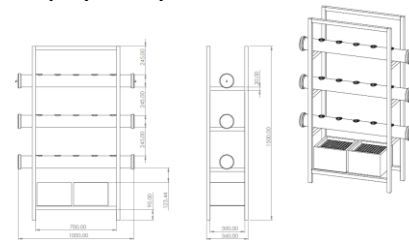


Figura 4. Modelo 2 - Estructura física del invernadero con tres niveles (mm)

Modelo 3: Si se desea realizar una estructura larga de 1.80cm x 1.25cm x 35cm, también para el cultivo de dos tipos de verduras, en la Figura 5, consta de cuatro tubos PVC para almacenar 20 plantas en vasitos y en cada nivel tiene 10 plantas del tipo de verdura seleccionada. En cada nivel tiene su propio depósito de solución nutritiva.

4.6 Diseño del Sistema de Automatización e Control.

Para la automatización del sistema, se seleccionaron los componentes y materiales que podrían utilizarse en el Invernadero hidropónico con sus respectivos objetivos

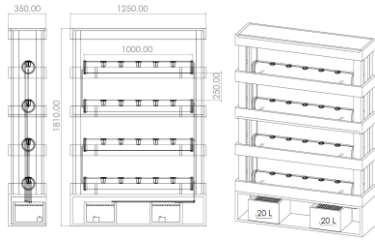
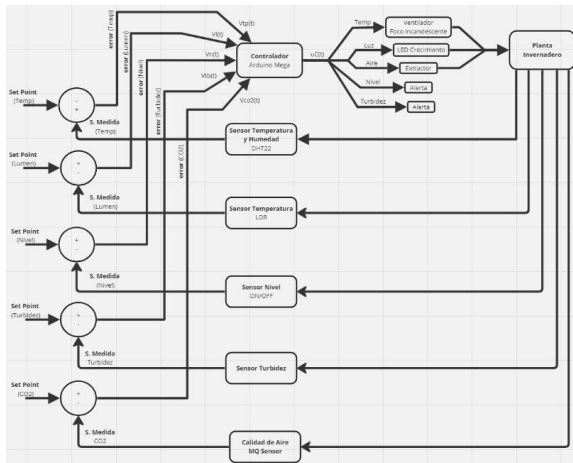


Figura 5. Modelo 3 - Estructura física del invernadero con dos niveles (mm)

En la Figura 6, muestra un diagrama de circuito para un sistema de cultivo hidropónico automatizado. Se describen los componentes electrónicos y su interconexión de la siguiente manera:

Figura 6. Diseño del Sistema de Automatización del IAH

- Un ARDUINO UNO, como el cerebro central del sistema,



encargado de la automatización y el control.

- Una fuente de energía de 9V 1A para proporcionar alimentación al sistema.
- LEDs de indicación conectados al ARDUINO, probablemente para señalar el estado o errores.
- Un módulo de relés que controla varios dispositivos como bombas y lámparas.
- Lámparas LED de crecimiento dispuestas en un arreglo, presumiblemente para proporcionar el espectro de luz adecuado para el crecimiento de las plantas.
- Un Real Time Clock (RTC), módulo de reloj, que permite programar y mantener un horario para los procesos automáticos.
- Bomba de agua de circulación, que moverá el agua o la solución nutritiva a través del sistema.
- Sensor de humedad y temperatura para monitorear las condiciones ambientales del cultivo.
- Sensor de turbidez, que mide la claridad de la solución nutritiva, lo que puede indicar su calidad.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

- Sensor de nivel de agua, para supervisar el nivel de la solución en el sistema y evitar desbordamientos o falta de nutriente.
- Lámparas o Foco de calentamiento, que se utilizan para mantener la temperatura óptima dentro del ambiente de cultivo.

También, se observan el lazo de control automatizado del invernadero en el cual se observan y registran las variables de Temperatura, Humedad y Calidad de Aire (CO₂) los cuales se encuentran definidos dentro de rangos para la activación de ventiladores, extractores y focos de luz. Así mismo la variable de intensidad Luminosa permite la activación de las luces LED de color blanco para mantener el invernadero con luz artificial en los horarios nocturnos. En este sistema solo las variables de Turbidez de Agua y Nivel de Agua en el depósito son monitorizadas y alertadas hacia el usuario para un mantenimiento manual. El sensor de CE, no se implementó debido a relatos de experiencias con problemas de oxidación y contaminar el agua, pues el enchufe tiene partes de cobre [26].

4.7 Programación con el Arduino

En esta etapa, se implementa los procesos y control de los procesos automatizados del Invernadero. Es crucial escribir el código para regular la dosificación de nutrientes, la temperatura, la humedad y la iluminación de las plantas.

Es importante probar el código antes de implementarlo en el Invernadero para asegurarse de que funcione correctamente. En esta etapa se utilizó el sitio Git Hub para almacenar los códigos y sus modificaciones en el repositorio [27]. Se empleó la IDE Arduino para programar el sistema de automatización de la huerta hidropónica, utilizando el lenguaje C++ adaptado a la placa de desarrollo Arduino Uno. En el código se consideraron las entradas de lectura de los sensores y botones diseñados, como sensores de humedad, temperatura, nivel de agua en el depósito, concentración de solución nutritiva, horarios para encender y apagar luces. Las salidas contempladas fueron las activaciones de luces de cultivo, luces calefactoras, bomba de circulación de agua, bomba de reposición de solución nutritiva en el depósito y LED indicador de bajo nivel de agua en el depósito. Por último, se añadió al código la capacidad de simular entradas de señales de diferentes sensores a través del terminal de comunicación serial, permitiendo simular, por ejemplo, el encendido de luces y LEDs en diversas situaciones y obtener la respuesta del encendido también a través del terminal. También se consideró la existencia de tipos de niveles en caso de ser aplicados independientemente para crear el entorno óptimo de crecimiento para cada grupo de plantas.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la etapa de recopilación de información para identificar el perfil del usuario y las necesidades de los potenciales clientes del invernadero, se realizaron encuestas. Se identificó como grupo objetivo a hombres y mujeres de entre 30 y 60 años, profesionales o trabajadores, preocupados por una alimentación saludable y el cuidado del medio ambiente. La investigación de mercado se llevó a cabo en Lima-Metropolitana con el fin de recopilar datos de los usuarios potenciales y construir el primer modelo del IAH para el hogar usando los tres modelos de

estructura diseñados. La encuesta se realizó con un total de 30 encuestados a través de la plataforma Video - Zoom. Obteniendo los siguientes resultados más relevantes:

1. Al 100% de los entrevistados señalan que están dispuestos a cultivar sus propios alimentos, por medio del Invernadero hidropónico.
2. Al 60% de los entrevistados estarían dispuestos a adquirir el Invernadero hidropónico por un precio entre de S/ 600 a S/ 799 soles y lugar apropiado estaría en la cocina al 90%.
3. Al 50% de los entrevistados señalan que están de acuerdo con las dimensiones del modelo 3, donde dispongan 20 plantas, el 30% prefieren de menor altura, como el modelo 2, y el 20% le interesan el modelo 1, por ser menor altura y lo pueden aprovechar como una mesa en la parte superior.

A partir de las entrevistas se construyó el modelo 3, por ser elegido mayoritariamente, con capacidad para albergar 20 plantas y dimensiones que se ajustan a las necesidades de la mayoría de las personas. Por otro lado, si el invernadero va a permanecer en la cocina, un espacio generalmente cerrado con luz artificial, se añadió una Luz Led blanca para complementar la iluminación. Esta decisión se basa en la necesidad de proporcionar a las plantas la luz adecuada para su crecimiento, considerando que la luz es un factor crucial para el desarrollo saludable de las plantas en un entorno interior. La utilización de luces LED blancas puede simular la luz natural necesaria para el proceso de fotosíntesis y favorecer el crecimiento equilibrado de las plantas en un entorno cerrado como la cocina.

En el primer prototipo, Figura 7 (a), se realizó como soporte la pared, y en el jardín para obviar la luz blanca en primera instancia, se experimentó diferentes dimensiones de Tubo PVC, así como distancias entre cada agujero para colocar la planta y obtener las mejores dimensiones y tipos de plantas o verduras a cultivar. También se probó con diferentes materiales de vasos de planta y soportes e inclusive el tipo de herramientas a utilizar.



Figura 7. Modelo 3 (a): Sin iluminación, (b) incluidos focos de cultivo LED Grow, Fitolamp para hidroponía.

En la mencionada figura, muestra un sistema de cultivo hidropónico vertical instalado en una pared del patio. Se pueden observar tubos de PVC 4", dispuestos horizontalmente en cuatro niveles, los cuales tienen distintas plantas en estado de crecimiento. Las plantas están insertadas en 5 agujeros a lo

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

largo de los tubos y se sostienen en su lugar con medio collares o abrazaderas grandes con un espacio de 12 cm entre agujero. A lado derecho se encuentra una manguera donde sube la solución y se desplaza por todo el tubo superior y cae por el lado izquierdo al tubo debajo y así sucesivamente. En la Figura 7 (b), fue instalado un foco de cultivo en la parte superior para observar el crecimiento de la planta con respecto a las plantas de niveles inferiores que no le llegaba la Luz de cultivo, solo era encendido de 6pm a 6am. Se observó que el sol estaba en dirección al Invernadero, temperatura 36°C, hasta el mediodía y se procedió cubrir con una malla de 60% y de esta forma, se controló la intensidad de exposición del sol. Otro inconveniente fueron las mosquitas blancas que aparecieron; aunque se utilizó jabón potásico para controlarlas, se reprodujeron rápidamente y no fue fácil mantener el control total de las plagas.

Después de ese primer prototipo, utilizando las dimensiones del Modelo 3, se construyó un segundo Invernadero con soporte de aluminio y cubierto con acrílico para evitar las mosquitas blancas o cualquier otra plaga, ver Figura 8 (a). El invernadero se colocó en la cocina como vitrina, hecha de acrílico y barra de aluminio para mayor durabilidad. Presenta una base rectangular donde se almacena el depósito de la solución nutritiva. La parte delantera consta de dos puertas y una puerta lateral cada lado, para facilitar el mantenimiento después de cada cosecha. Se utilizó ruedas para facilitar el traslado para cualquier ambiente de la casa.

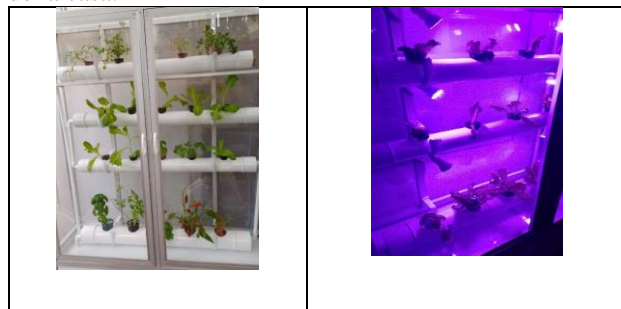


Figura 8. Modelo 3: (a) cubierto con acrílico, (b) cubierto con acrílico y foco de cultivo en cada nivel.

La figura ilustra una variedad de plantas y verduras organizadas en múltiples niveles. Tres niveles, con tubo PVC de 2", donde se colocaron plantas aromáticas y medicinales, lechuga, espinaca bebe, tomillo y menta; y en el nivel inferior, tubo PVC de 4", se plantaron verduras de tallos gruesos. Además, las luces de cultivo se encienden automáticamente, ofreciendo un efecto visual atractivo para cualquier espacio de la casa. Las bombas de agua funcionaban inicialmente 3 a 4 veces al día de 6 a.m. a 6 p.m., con ciclos de 7 minutos, pero luego se redujo a 2 veces al día para minimizar el estrés de las plantas, obteniendo buenos resultados.

Sobre el costo del primer invernadero realizado en el jardín fue S/ 150 soles aproximadamente, los materiales utilizados son fáciles de adquirir en cualquier tienda de materiales. Sobre el segundo modelo del invernadero, fue una inversión mayor con un costo de S/500 soles por tratarse la utilización de materiales de barras de aluminio y acrílico juntamente con diversos sensores e inclusión de luz led blanca y de calentamiento.

Se recomienda realizar mantenimiento al término de cada cosecha, que suele ser aproximadamente cada tres meses, para

evitar la proliferación de hongos y bacterias en las plantas. Es aconsejable utilizar jabón diluido en abundante agua y evitar productos agresivos, aplicándolos con cuidado para no alterar la nivelación de los tubos de PVC instalados. Además, la construcción de puertas laterales ha sido de gran ayuda para facilitar el acceso a los extremos de los tubos de PVC, ya que los canales pueden obstruirse fácilmente si no se mantienen adecuadamente.

Para determinar cuál sistema de cultivo hidropónico es más eficiente para usar en casa, debemos considerar factores como el espacio disponible, la facilidad de mantenimiento, el costo y la eficacia en el cultivo de plantas comestibles o decorativas. El sistema empleado en el presente trabajo fue NFT, por ser compacto y escalable ideal para espacios limitados como cocinas, también demuestra la eficiencia de los nutrientes utilizando menos agua en comparación con otros sistemas. El sistema DWC, cultivo de aguas profundas, demuestra eficiencia en alta en términos de crecimiento de las plantas y uso de nutrientes. Sin embargo, puede ser menos práctico en casas con espacio limitados debido a la necesidad de tanques grandes para mantener la solución nutritiva y ser implementado en casa merece un buen cuidado y un constante monitoreo en todo el sistema. Por otro lado, el sistema de mecha es uno de los sistemas más simple y económicos, ideal para principiantes y para quienes buscan una opción de bajo mantenimiento. Una desventaja común del sistema es la susceptibilidad a problemas como la aparición de algas o el desarrollo de enfermedades en las raíces debido a la constante exposición al agua. También exige un buen cuidado y monitoreo constante, muchas personas en los hogares logran cultivar con éxito una variedad de plantas en sistemas hidropónicos de este tipo. El sistema flujo y reflujo, permite una gran flexibilidad en tipos y tamaños de plantas, pero requiere algo de espacio para el sistema propio de inundación y drenaje. En el sistema de goteo, es apropiado para plantas más grandes o de fruto, como tomates o pimientos. Puede ser un poco complejo de instalar y mantener, especialmente en términos de evitar la obstrucción de los goteros. El sistema aeropónico, es eficiente en términos de crecimiento de los vegetales y eficiencia en los nutrientes. Sin embargo, es el más técnico y a menudo el más caro de instalar y mantener, y sensible a fallos de energía.

Por otro lado, para mantener el nivel adecuado de solución nutritiva, se pueden utilizar inyector que añadan más solución cuando sea necesario. Esto requeriría una bomba peristáltica de 6V para bombear la solución hacia las plantas, y el depósito de entre 2 y 5 litros que funcionarían como tanque de almacenamiento para la solución concentrada de nutrientes. La capacidad del depósito dependerá del número de niveles del sistema o la cantidad de plantas a cultivar.

VI. CONCLUSIÓN

El invernadero IAH es particularmente ventajosa para personas ocupadas o quienes prefieren una solución "configurar y olvidar" para cultivar plantas en interiores, optimizando el uso

del espacio y los nutrientes y permitiendo la producción de vegetales libres de contaminación a bajo costo y sin impacto negativo en el medio ambiente.

Actualmente, el IAH está en una fase de experimentación y adaptación, donde se realizan pruebas para perfeccionar los sistemas de control y automatización, ajustando los parámetros ambientales para diversas plantas. Esta etapa es esencial para garantizar que el invernadero opere de manera eficiente bajo diferentes condiciones y satisfaga las necesidades específicas de cada planta. También ayuda a identificar y resolver desafíos técnicos, preparando el sistema para una implementación más efectiva en el futuro.

Un sistema NFT automatizado en el hogar ofrece una solución eficiente y práctica para el cultivo hidropónico y a bajo costo pues los materiales son fáciles de encontrar, también ideal para quienes buscan maximizar la eficiencia y minimizar el esfuerzo manual y la necesidad de conocimientos técnicos avanzados.

Además, los sistemas NFT automatizados pueden integrarse con tecnología de hogar inteligente, facilitando el monitoreo y control remotos mediante smartphones o asistentes digitales, lo que añade conveniencia y modernidad al manejo del cultivo.

AGRADECIMIENTO

Este proyecto no solo representa un avance técnico, sino también un esfuerzo colaborativo y multidisciplinar que refleja la dedicación y la pasión de cada miembro del equipo. Gracias por su compromiso, su visión y su incansable dedicación que han hecho posible este logro.

REFERENCIAS

- [1] Pérez-Consuegra, N., Alternativas a los plaguicidas Altamente Peligrosos en América Latina y el Caribe. Un reporte del IPEN un futuro sin tóxicos 2018. https://ipen.org/sites/default/files/documents/alternativas_pap_v_final_16_ene_ro_19.pdf
- [2] Souza, J., Informe sobre la situación de los plaguicidas altamente peligrosos (PAP) y las estrategias sobre producción sustentable en la Argentina. IPEN por un futuro mejor. https://ipen.org/sites/default/files/documents/cetaar_anexo_d_informe_pap_15_junio_2021.pdf
- [3] Guzman, A., Barrera P., Rivas, T., AGRICULTURA CHILENA Reflexiones y Desafíos al 2030. Centro de Información Silvoagropecuaria (CIS). https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf_2030-1.pdf
- [4] Martínez, O. et al. Nuevas tendencias en la producción y consumo alimentario. Ciencias y Tecnología de Alimentos – Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL). 2021. Madrid. <http://hdl.handle.net/10261/253463>
- [5] Murillo, A., Rodríguez D., Alimentación Saludable, la gran tendencia del consumo actual. Universidad Autónoma de Occidente. Programa Mercadeo y Negocios Internacionales Santiago de Cali. 2018. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/4d349168-aa75-429a-8667-a724f1412b44/content>.
- [6] Vargas, J., Tendencias de la Ciencia, la tecnología y la innovación en el sector agroalimentario y los agronegocios en México. Institución de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas. México. 2023. http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/5051/Vargas_Canales_JM_DC_Ciencias_Investigacion_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [7] Bulnes, M. P., Prototipo de un Invernadero Automatizado Hidropónico NFT con dos Microclimas para el Hogar basado en Internet de las cosas. Revista de Investigación e Informática. Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática. UNMSM. Perú. 2023. <https://doi.org/10.15381/risi.v16i1.25581>
- [8] Gutiérrez-Flores, H., Kau-Pérez, J., Alba-Romenus, K., Sandoval-Rangel, A., Diseño e implementación de un sistema de control automático de irrigación y fertilización para invernaderos bajo el paradigma de la Agricultura 4.0.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 2022. <http://dx.doi.org/10.59741/agraria.v19iSE1.6>
- [9] Rojas, O. et al. Diseño e Implementación de un Sistema Automatizado para Invernadero Hidropónico. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingenierías. Tecnología en Electrónica. Mariquita, Colombia. 2017
- [10] Sánchez S. et al. Proposal for an automated greenhouse to optimize the growth of hydroponic vegetables with high nutritional content in the context of a smart cities. Corporation Universitaria Antonio José de Sucre, Sincelejo, Colombia. Faculty of Engineering Science. 2021.
- [11] Carrión S., Plan de Negocios para la creación de una empresa productora y comercializadora de “Huertos e Invernaderos Orgánicos” para casas y departamentos en la ciudad de Quito”. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Ecuador. 2016. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/5172/1/UDLA-EC-TINI-2016-51.pdf>
- [12] Pooter, H., & Nagel, O. The Role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Functional Plant Biology*, 27(12): 1191-1191. 2000. doi: 10.1071/PP99173_CO.
- [13] Li, Y., Chen, et al. Effect of led supplemental illuminate on the growth of strawberry plants. Symposium on Photonics and Optoelectronics: IEEE. 2012. Doi: 10.1109/SOPO.2012.6270919.
- [14] Resh, M. Hydroponics for the home grower. Anguilla: CRC Press. 2015. Doi: 10.1201/b18069.
- [15] The Hydroponics Guru. Disponible online: <https://thehydroponicsguru.com/types-of-hydroponics-systems/> (accessed on 12 december 2022).
- [16] Suresh, J., et al. Hydroponics as an Advanced Agricultural Production System for Cultivation of Vegetables and Short Duration High Value Crops. *International Journal of Tropical Agriculture*. Vol. 40, Num (3-4); pp 289-307. 2022. <https://www.cabdigitalibrary.org/doi/pdf/10.5555/20230173858>
- [17] Rapisarda R., et al. Hydroponic Green Roof Systems as an Alternative to traditional Pond and Geen Roofs: A Literature Review. *Energies*. 2022. <https://www.researchgate.net/publication/359279507>
- [18] Rajendran, S., et al. Hydroponics: Exploring innovative sustainable technologies and applications across crop production, with Emphasis on potato mini-tuber cultivation, *Heliyon*, vol 10. 2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024028548>
- [19] Acosta, M. Plantas hidropónicas: tipos, lista de ejemplos y cómo cultivarlas. *Ecología verde*. 2019. <https://www.ecologiaverde.com/plantas-hidroponicas-tipos-lista-de-ejemplos-y-como-cultivarlas-2159.html>
- [20] Fao. Manual Técnico la Empresa Hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT) Hidroponía. Editorial Universidad de Talca. Chile. 1996
- [21] Cevallos M., Aplicación de Soluciones Nutritivas en Variedad de Lechuga en Cultivo Hidropónico bajo el sistema NFT: Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Ecuador. 2020. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4846/1/UTC-PIM-000191.pdf>
- [22] Winsor, G. and Schwarz, M. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. FAO Plant Production and Protection. Paper 101. FAO (ed). Roma.
- [23] Lorenz, O. and Maynard, D. 1988. "Part 2: Vegetable growing and greenhouse vegetable production". In: Knott's handbook for vegetable growers. John Wiley & sons (eds.). 53-65 pp.
- [24] Cooper, A. 1988. "1. The system. 2. Operation of the system". In: The ABC of NFT. Nutrient Film Technique. Grower Books (ed.). London. pp 3-123.
- [25] Carrasco G., et al. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceites esenciales en albahaca cultivada NFT. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292007000200007
- [26] Oña E., Medición de pH y conductividad eléctrica para el control de un sistema hidropónico NFT. Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Ibarra. Ecuador 2020.
- [27] Código de Git Hub donde se almacenó los códigos y sus modificaciones del presente trabajo en el repositorio <https://github.com/kleim4n/EstufaInteligente/>.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE