
Prototipo de un Invernadero automatizado hidropónico NFT con dos microclimas para el hogar basado en Internet de las cosas

Prototype of an automated hydroponic NFT greenhouse with two microclimates for the home based of Internet of things

Maria Elizabeth Puelles Bulnes

<https://orcid.org/0000-0002-7787-5935>

mpuelleb@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad
de Ingeniería de Sistemas e Informática. Lima,
Perú

RECIBIDO: 16/06/2023 - ACEPTADO: 12/07/2023 - PUBLICADO: 21/08/2023

RESUMEN

Garantizar la alimentación de manera segura y sostenible a nivel global es uno de los mayores desafíos actuales. Este reto se agudiza ante las diversas perspectivas de crecimiento demográfico a nivel mundial y también los métodos de la agricultura convencional no son capaces de satisfacer la demanda global de alimentos. En las últimas décadas a medida que avanza la tecnología, los invernaderos hidropónicos automatizados han ido destacándose y ganando los campos, áreas urbanas y dentro de los hogares. Una de las aplicaciones tecnológicas que se destaca es permitir el control y seguimiento constante de los parámetros ideales para el cultivo. Así, este artículo tiene como objetivo realizar el diseño e implementación de un prototipo de invernadero automatizado hidropónico con el sistema NFT (Técnica de la película nutriente) con dos microclimas para el hogar llevando practicidad al usuario con la autonomía del sistema y obteniendo diversas plantas, verduras o hortalizas libres de fertilizantes, buena calidad y a bajo costo. En el primer microclima servirá para colocar plantas medicinales, aromáticas u ornamentales y en el segundo microclima para vegetales y hortalizas tanto de tallos corto y tallos largos. Se realizó la investigación de mercados como primera etapa para la validación de baja fidelidad con el objetivo de conocer los clientes potenciales, plantas, verduras y hortalizas de preferencia, así como las dimensiones adecuadas del prototipo del invernadero para ubicarlos dentro del interior de las viviendas. Luego, se utilizó una plataforma para Internet de las cosas (IoT), como proyecto de ingeniería y la transmisión de los datos medidos a la nube y el procesamiento de estos datos en un servidor remoto para el control y automatización del invernadero hidropónico.

Palabras clave: Invernadero hidropónico NFT, Invernadero automatizado, Internet de las Cosas, Microclima.

ABSTRACT

Ensuring food security and sustainability at the global level is one of the current major challenges. This challenge is intensified by the various prospects for population growth and conventional farming methods that are unable to meet the global demand for food. In the last decades, with advancing technology, automated hydroponic greenhouses have been gaining prominence in agricultural fields and urban areas including homes. One of the technological applications highlighted is to enable constant control monitoring of ideal parameters for cultivation. Thus, this article aims to design and implement a prototype of an automated hydroponic greenhouse with the NFT (Nutrient Film Technique) system with two microclimates for the home, bringing practicality to the user with the autonomy of the system and obtaining various plants, vegetables, or vegetables free of fertilizers, good quality and low cost. The microclimates of the greenhouse are intended for a variety of plants, including medicinal, aromatic or ornamental plants, as well as

short and long-stemmed vegetables and vegetables. Market research was performed as a first stage for the validation of low fidelity in order to know the potential customers, plants, and vegetables of customer preference as well as the appropriate dimensions of the greenhouse prototype to be installed at homes. After that, an Internet of Things (IoT) platform was used as an engineering project and the transmission of the measured data through cloud computing was used to help the data process in a remote server for the control and automation of the hydroponic greenhouse.

Keywords: NFT Hydroponic Greenhouse, Automated Greenhouse, Internet of Things, Microclimate.

I. INTRODUCCIÓN

Durante la pandemia de COVID-19 originó que las personas sean afectadas también en su economía disminuyendo su poder adquisitivo y con ello el deterioro de la salud, por tal motivo, el hambre aumentó en 2020. Se estima que entre 700 y 815 millones de personas, pasaron hambre (FAO, 2021) y que el crecimiento poblacional aumentará a nueve millones de personas aproximadamente en 2050 (Sahour, 2021).

Los problemas más relevantes que enfrentan los productores de alimentos son las plagas y enfermedades, el uso de pesticidas y las condiciones climáticas adversas. Estos factores reducen la productividad por unidad de superficie plantada y, a menudo, causan grandes pérdidas en las plantaciones. Por otro lado, los métodos de la agricultura convencional no son capaces de satisfacer la demanda global de alimentos y los efectos adversos del cambio climático siguen siendo los principales problemas que enfrentan la producción de alimentos, reduciendo la productividad por área sembrada y, muchas veces, diezmando grandes lotes de plantaciones (Alpay; Erdem, 2018). Garantizar alimentos de forma segura y sostenible a la población mundial es un gran desafío. En todo este escenario de producción de alimentos y crecimiento poblacional, el uso de invernaderos es considerado una solución esencial en el marco de una economía rentable y sostenible (Reddy, 2016).

En las últimas décadas, la tecnología aplicada a la agricultura como la agrotecnología, ha tenido gran cabida en casi todas las aplicaciones agrícolas, buscando obtener mayores resultados. De esta manera, la tecnología ha alentado a los agricultores a hacer sus tierras más eficientes con la presencia de invernaderos automatizados, proporcionando el crecimiento controlado a los vegetales y hortalizas de acuerdo con los requerimientos de los cultivos, asegurando una producción a mayor escala (Vishwakarma et al., 2020). Los autores (Ali & Hassanein, 2020), destacan al invernadero como mecanismo de agricultura de precisión, que permite el uso en regiones con condiciones climáticas adversas, con-

siderando el monitoreo del clima interno y externo como algunas de las estrategias más importantes, pues la temperatura idónea en el invernadero varía en función del cultivo y las etapas de desarrollo. Sin embargo, (Zhang et. al. 2021), apoyan el uso de la automatización en los invernaderos debido a la demanda de alimentos frescos, necesidad de la eficiencia energética y reducción del consumo de agua. En el caso de los invernaderos automatizados (La Notte et. al. 2020), señalan que los llamados Invernaderos de Alta Tecnología (HTG) son generalmente fabricados con una estructura de acero galvanizado y vidrio, cuenta con sistemas de control para gestionar la calefacción, la ventilación, la refrigeración, la humedad relativa, la luz natural o artificial y la fertilización con dióxido de carbono. El autor (Sidique, 2017), manifiesta que un invernadero controlado artificialmente mediante sensores y actuadores basado IoT, produce más cultivos por metro cuadrado en comparación con el cultivo en campo abierto, ya que los parámetros micro climáticos que determinan el rendimiento de los cultivos se examinan y controlan continuamente para garantizar que se cree un entorno óptimo. En los últimos 20 años, científicos de todo el mundo han investigado el sistema de monitoreo de un invernadero, obteniendo excelentes resultados y llevándolo a la práctica en la producción agrícola, consiguiendo el progreso en la producción en los cultivos. La contribución de la presente investigación es la implementación de un prototipo de invernadero automatizado hidropónico NFT para el hogar con dos microclimas para que las personas o familias, tengan mayor variedad de cultivo a la mano, libre de insecticidas, alto rendimiento y a bajo costo. Es importante destacar que existen pocas investigaciones sobre el uso de invernaderos con dos microclimas integrados en un solo equipo debido a la complejidad en su control y gestión.

II. HIDROPONÍA NFT

La técnica de capa nutritiva (NFT) es un método desarrollado por el Dr. Cooper Aj en el "Glasshouse Crops Research Institute", Inglaterra-1960. La palabra hidroponía proviene del griego, donde "hydro" significa agua y "ponos" significa trabajo. La hidro-

ponía garantiza que las verduras y hortalizas obtengan los nutrientes necesarios sin la necesidad de usar suelo, y las raíces de las plantas absorben el agua, oxígeno y nutrientes. La implementación hidropónica consiste en tubos de PVC por donde circulan los nutrientes por toda el área de los tubos y regresan a un reservorio donde se encuentra la solución nutritiva. Es en este mismo reservorio donde se bombea la solución nutritiva en forma sucesiva desde la fase de trasplante hasta la cosecha de las verduras y hortalizas, ahorrando el agua, (Andrade, 2021; Abul-Soud, Eman & Mohammed, 2021), ver la Figura 1.

En la Figura 1, muestra el tubo PVC conteniendo los vasos con la solución nutritiva, un reservorio en la parte final con una bomba incluida. Se observa una conexión que sale de la bomba en dirección al tubo de PVC, y en el otro extremo se observa una segunda conexión que retorna al reservorio. Los sistemas de cultivos de este tipo permiten un mayor control de las variables involucradas en el cultivo de una planta. Esta técnica se utiliza para la producción de hortalizas, frutas, cereales, tubérculos, flores y hortalizas, tanto a escala industrial como en pequeñas producciones, y cuenta con varias ventajas en comparación con la siembra en el suelo (Alipio et.al, 2021, Idoje, 2023, Bedoya & Suárez, 2020, Rodrigues, 2019).

III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño del Invernadero hidropónico NFT para el hogar

Se realizó un primer prototipo del invernadero fruto de investigaciones, expertos y especialistas del tema, tanto en el diseño de las instalaciones hidráulicas, eléctricas y sensores y actuadores. En forma

paralela se realizó el estudio de las plantas, verduras y hortalizas, solución nutritiva y proveedores. Cabe resaltar, que antes de iniciar la validación de mercado, es necesario contar claramente con los objetivos, identificando que es lo que se quiere validar, por ejemplo, la percepción de valor del producto innovador, una idea, el problema, la usabilidad de un producto o una propuesta de valor. Debemos tener en cuenta que en esta parte dependerá del estado de desarrollo del prototipo innovador (Sarraipa J., et. al., 2019).

3.1.1. Evaluación del estado de desarrollo del prototipo y mercado potencial

Dentro de las metodologías más utilizadas para medir el grado de madurez de un proyecto es la Tecnología Readiness Levels (TRL). Es tipo de herramienta que surgió de la NASA, y luego se expandió para aplicarse a cualquier proyecto, desde una simple idea original hasta el desarrollo del prototipo. Se puede apreciar los diversos niveles TRL en la Figura 2.

A continuación, en la Tabla 1, se describe cada nivel de la TRL.

Es importante clasificar en forma adecuada el TRL, pues se logran definir claramente los riesgos y tiempos al proceso de desarrollo y comercialización, (Sarraipa, et. al., 2019).

3.2. Investigación del mercado

Es fundamental porque se adquiere información valiosa, exacta y fundamental para la toma de decisiones. (Soledispa-Rodríguez, 2021). Se busca organizar, recolectar e interpretar datos con el objetivo de conocer los patrones de consumo, razones y las

Figura 1
Hidroponía - Sistema NFT. (Agro tendencia, 2017).

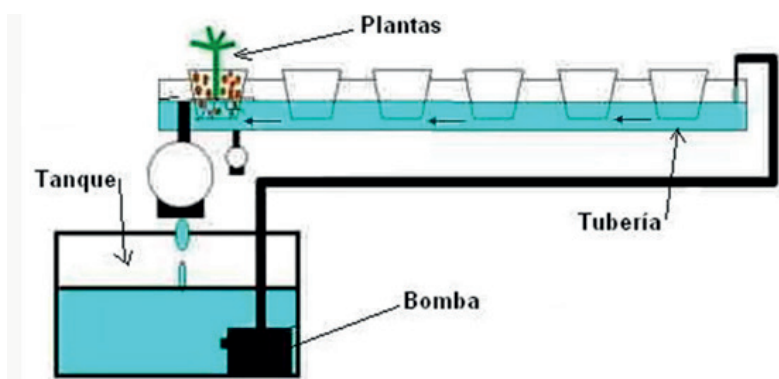


Figura 2
Niveles de alistamiento de tecnologías (Sarraipa, et. al., 2019)

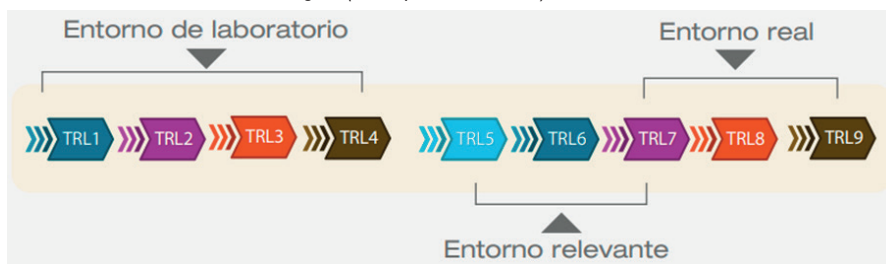


Tabla 1
Características TRL

TRL Niveles	Descripción
TRL1	Corresponde al nivel más bajo, pues el proyecto comienza con una idea.
TRL2	La idea está clara y se define su aplicación en áreas específicas.
TRL3	Incluye las actividades (I+D), también la realización de pruebas de concepto, analíticas o a escala en laboratorio.
TRL4	Se cuenta con un prototipo a nivel de laboratorio.
TRL5	Integración de los elementos básicos del proyecto de innovación y se espera que el prototipo cuente con validación en un ambiente real.
TRL6.	Prototipo piloto capaces de desarrollar todas las funciones propuestas dentro de un sistema determinado.
TRL7	El prototipo se encuentra próximo a operar en escala comercial, con costos asociados al entorno real y ciclo de vida.
TRL8	El proyecto ha sido probado en su etapa final, con resultados cuantitativos en condiciones de operación.
TRL9	Proyecto en su fase final y operativa.

motivaciones a la hora de comprar ciertos productos. (Tobar, 2019).

3.2.1. Validación del prototipo

En el diseño del invernadero hidropónico NFT, la fase de la validación del prototipo se realizará en dos fases. En la primera fase consiste en la validación del prototipo de baja fidelidad mientras que la segunda fase es la validación del prototipo de alta fidelidad, que aún está en proceso después de haber realizado la implementación y puesta en marcha.

3.2.1.1 Validación de baja fidelidad

Consiste en la evaluación de un prototipo o modelo inicial que representa de manera simplificada y de bajo costo el producto o servicio. El objetivo es obtener retroalimentación temprana sobre el diseño del producto o servicio, identificar problemas y oportunidades de mejora, y validar la viabilidad del concepto. Esta técnica de prueba se realiza con usuarios o clientes potenciales que interactúan con el prototipo y brindan sus comentarios y sugerencias.

3.2.1.2 Validación de alta fidelidad

Consiste en la evaluación de un modelo final (proyecto) a los clientes potenciales con el producto en pleno funcionamiento. La validación de alta fidelidad es una parte importante pues debe cumplir con todas las características y performance del producto o servicio final.

3.3. Tecnologías y herramientas utilizadas

- **Plataforma Arduino Mega2560:** Es una actualización del Arduino Mega, ideal para proyectos que requieren una mayor cantidad de pines de entrada/salida y memoria GPIO (pines de propósito general) especial para entornos de varios periféricos, sensores y actuadores, enlazando cortos lazos de control interno que requieren una rápida atención. (Andrianto et.al, 2022; Herlisman et.al., 2022; Mahkeswaran & Keong, 2020).
- **Node Mcu ESP8266:** Es un módulo que integra el chip ESP8266, el cual está orientado principalmente al IoT, lo cual es perfecto si lo que se busca es innovar en equipos los cuales se puedan controlar remotamente o registrar sus niveles o rangos medidos por sensores instalados en el mismo.

- **Sensores de Temperatura y Humedad:** Para el registro de las variables de temperatura y humedad se procedió a utilizar el sensor DHT22, que a diferencia del sensor DHT11, presenta un menor error de lectura y brinda una mayor precisión en las variables de temperaturas y humedad.
- **Sensor de calidad de aire MQ7 y Concentración de CO2 MQ135:** El sensor MQ7 permite detectar el gas Monóxido de Carbono (CO), principalmente en altas concentraciones las puedes ser dañinas tanto para el ser humano como para ciertos animales y plantas. Este sensor permite detectar concentraciones en el rango de 20 a 2000ppm.
- **Fotorresistencia LDR:** Permite medir la intensidad de luz que incide sobre la cabeza del sensor, el cual, a mayor intensidad luminosa, su propiedad física (resistencia) disminuye. De esta manera podemos registrar la intensidad de luz que ingresa al invernadero y al momento de una caída de luminosidad permite el activar de las luces adicionales.
- **Sensor de Turbidez:** El sensor de turbidez permite censar la opacidad del agua, identificando si se encuentra partículas impuras suspendidas. Para ello se emplea se sensores internos para detectar la transmitancia de la luz, a medida que las partículas impuras aumenten el valor de turbidez entregado por el sensor aumentará
- **Pantalla LCD 20x4 Alfanumérico:** Entre la variedad de periféricos que permiten visualizar la información de data obtenida como sensores, mensajes de error o bug, los cuales interactúan con el usuario.
- **Módulo de Reloj DS3231:** Los RTC o conocidos como Reloj en Tiempo Real, son dispositivos que permiten agregarle información necesaria como fecha y hora a los datos que vamos obteniendo y almacenando en la memoria, debido a su bajo consumo son una opción viable debido a que no pierden la sincronización fácilmente. Este módulo nos permite poder almacenar trama de datos incluyéndole la fecha y hora en que fueron registrados, así como brindar controles por temporizador perfectos para automatizar control de luz por horarios.
- **Reguladores de voltaje LM2596:** Este módulo es un regulador de voltaje DC-DC Step Down a 3Amp cuya función principal de la de brindar un voltaje de salida constante e inferior al voltaje de entrada. Este dispositivo soporta voltajes de entre 4.5v a 40v de entrada, entregando una salida entre 1.23v a 37v.
- **Actuador Shield Relay 4 Canales:** Este tipo de actuador sirve como una llave que se puede conmutar automáticamente cumpliendo una serie de requisitos preestablecidos en el controlador con el que trabaja. Esta llave puede controlar hasta 4 cargas de 220 AC o 4 cargas de hasta 28v DC. Este actuador es perfecto para proyectos como domótica o automatización de un determinado prototipo como es el caso del Proyecto del Invernadero.
- **Ventiladores y Extractores – Coolers:** Estos tipos de actuadores son motores impulsados por corriente eléctrica el cual, al momento de girar, llevan consigo unas hélices las cuales dependiendo de su posición se comportan bien como ventilador o bien como extractor. Estos actuadores permiten enfriar o mantener una temperatura. Estos son usados para mantener una temperatura interna del invernadero apropiada para cada planta.
- **Focos de cultivo para plantas:** Es una bombilla especial para cultivo, consta de 106 piezas de chips LED de alta eficiencia: 86 rojos y 20 azules. pueden proporcionar la longitud de onda completa de luz que se necesita para el crecimiento saludable de las plantas y pueden mejorar la eficiencia de la fotosíntesis.
- **Luz LED blanca:** Las plantas necesitan de la luz como fuente de energía para la fotosíntesis, o sea, a la reacción entre el dióxido de carbono y el agua, en presencia de luz, para producir carbohidratos y oxígeno.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Evaluación del estado del prototipo TRL

Para determinar el estado del TRL del prototipo del invernadero hidropónico al inicio del proyecto, se utilizó la calculadora online del Concytec, siendo una herramienta practica y personalizada para proyectos I+D. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.

- Nivel de madurez tecnológica: TRL 3

Tecnológico: Se ha iniciado las pruebas experimentales y se demuestra el sustento del desarrollo de la tecnología que serán ciertamente aplicables.

Desarrollo del producto: Se cuenta con el primer prototipo del invernadero automatizado hidropónico para el hogar a nivel experimental.

Entorno de Producción: Se comprender los aspectos necesarios para pasar del laboratorio a un entorno de experimentación controlado.

Demanda: Se ha iniciado la colaboración para el desarrollo/experimentación.

La validación del primer modelo del Invernadero hidropónico para el hogar permitirá producir plantas, verduras y hortalizas de alta calidad libre de contaminantes en cualquier momento del año; con un uso eficiente del espacio en el interior de la vivienda ya sea en la cocina o en la sala comedor. Las estrategias que fueron aplicadas para el estudio se presentan en la Figura 4.

En la Figura 4, muestra en el primer paso, la elaboración del site con todas las ideas del modelo de negocio y un prototipo de invernadero hidropónico, luego la recopilación de los datos a través de encuesta a los clientes potenciales antes de ingresar el prototipo del invernadero al mercado, seguido la evaluación del resultado final.

4.2. Validación de baja fidelidad del prototipo

4.2.1. Recopilación de información

Figura 3
Escala de madurez TRL del prototipo de Invernadero

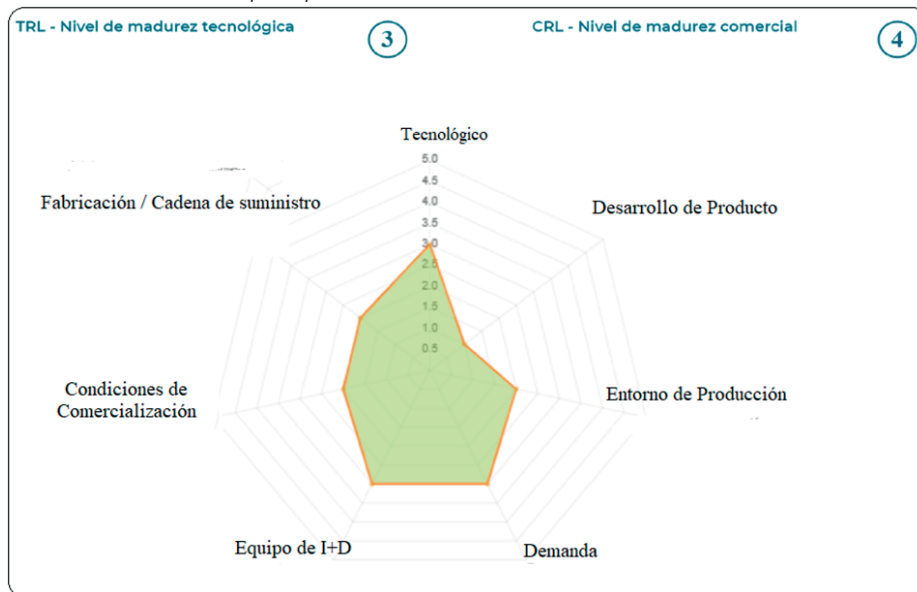


Figura 4
Estrategias aplicadas para el estudio.



Elaboración propia

En esta etapa de recopilación de información sirve para identificar el perfil del cliente y sus necesidades de los potenciales clientes, a través de un mapa persona. Se identificaron un primer lugar el grupo objetivo de mujeres en edades entre 30 y 60 años, sean solteras o madres de familia, profesionales o técnicas trabajadoras, que se preocupan por una alimentación saludable con productos libres de tóxicos que no contaminen el medio ambiente.

Por tal motivo se realizó la investigación del mercado en el Lima-Metropolitana con el objetivo de

conocer y recopilar los datos de los clientes potenciales y validar el primer modelo del Invernadero hidropónico para el hogar que permitirá cultivar plantas, verduras y hortalizas de alta calidad libre de contaminantes en cualquier momento del año; con un uso eficiente del espacio en el interior de la vivienda ya sea en la cocina o en la sala comedor.

4.2.2. Realización de las encuestas

Se procedió con el desarrolló un landing page en el software Wix, conforme se muestran en las Figura 5

Figura 5

Landing page del prototipo Invernadero hidropónico para el hogar.



Elaboración propia.

Figura 6

Landing page del prototipo Invernadero hidropónico para el hogar.



Elaboración propia.

y Figura 6 y un cuestionario que consistió en 6 preguntas de información general (1 al 6) y 10 preguntas (7 al 16) para identificar el problema a resolver a los potenciales clientes de contar con productos saludables y orgánicos a la mano cultivados en un invernadero inteligente casero. Sobre una base de 50 encuestados en total vía zoom, se realizó la encuesta mostrando el Landing page elaborado.

4.3. Diseño del Sistema del Invernadero hidropónico

Para el diseño del sistema se tomó en consideración un sistema que permita autorregularse y otro que permita el envío de la información, es por este motivo que se optó por implementar la autogestión directamente con el microcontrolador Arduino Mega 2560 mientras que el envío de la información a la interfaz remota está a cargo del Node MCU ESP8266, como se puede observar en la Figura 7, el diagrama de conexiones y consumo del sistema de control automático.

En la Figura 7, el Arduino Mega2560 tiene conectado tanto los sensores y actuadores que se encuentran distribuidos en ambos microclimas, así como también los sensores del área de depósito de agua, debido a que también son monitoreados y deben ser atendidos por el usuario, mediante un cambio de agua. Mientras tanto el Arduino Mega2560 y el

Esp8266, se mantienen en constante comunicación en donde el Arduino Mega2560 le indica el valor de las variables obtenidas por los sensores, para que posteriormente sean enviadas por Wifi a una Interfaz Remota de monitoreo instalado en una PC. Dicha Interfaz recibe los datos y según límites establecidos en la interfaz se activan alertas que pueden ser atendidas tanto manualmente como automáticamente.

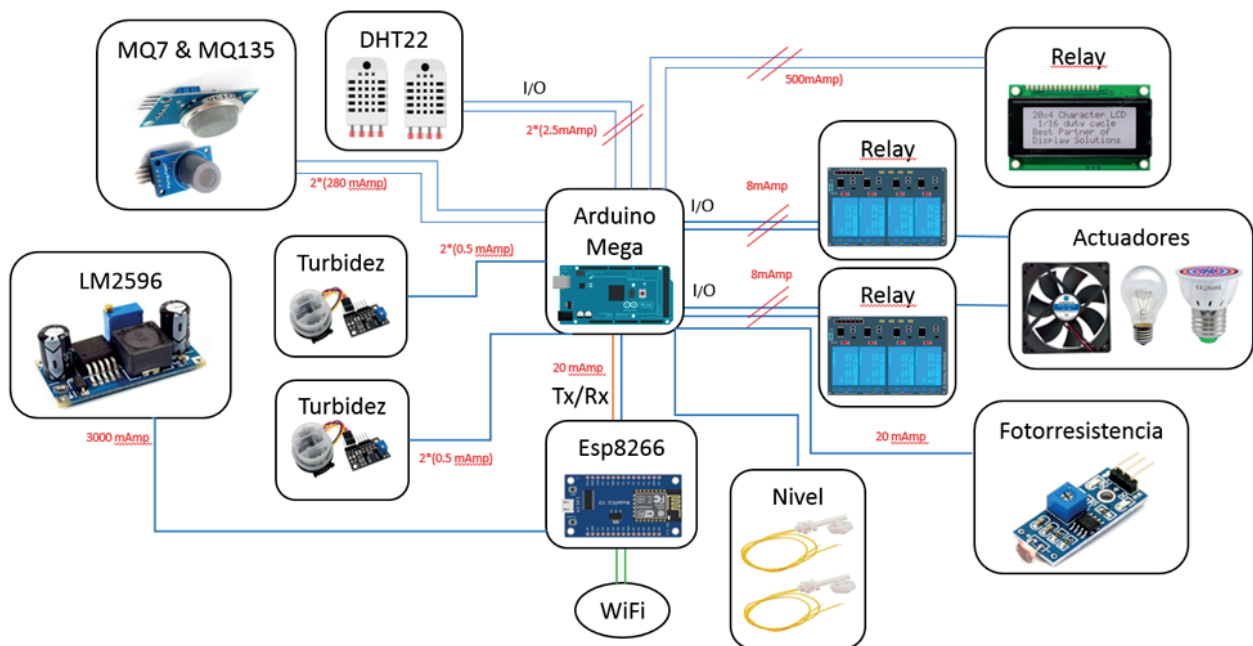
4.3.1. Funcionamiento del Sistema

El sistema del invernadero inteligente se divide en 2 subsistemas los cuales se definen como **Sistema de Control Autónomo (SCA)** y **Sistema de Monitoreo (SM)**, en los cuales como su nombre lo indica, uno se encarga de la automatización y funcionamiento de los actuadores y periféricos comandados por los datos registrados por los sensores. Mientras que el segundo, se encarga solamente de registrar los valores obtenidos por los sensores, y poder generar alertas a partir de estos.

El **SCA**, está programado directamente en el microcontrolador y se definieron los rangos de alertas y las acciones que van a ejecutar en cada uno de los dos microclimas.

Para visualizar los datos y las alertas del SCA, se ha implementado un visualizador LCD alfanumérico.

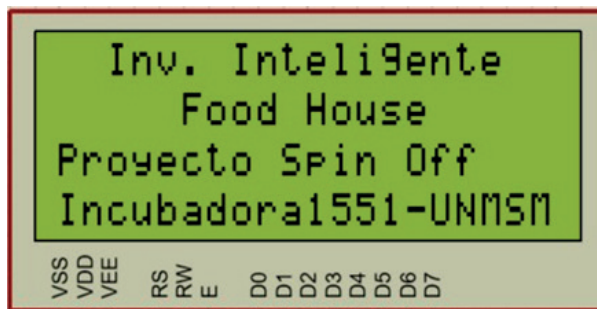
Figura 7
Diagrama de conexiones y consumo del sistema de control automático.



Elaboración propia.

Figura 8

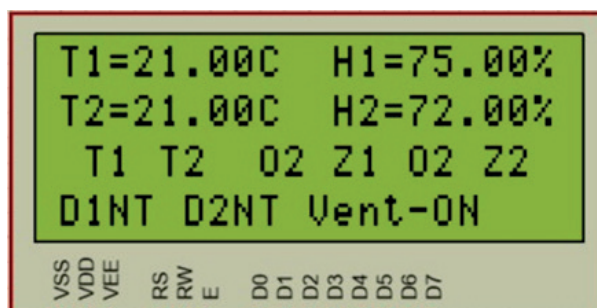
Mensaje de Bienvenida al inicio de sistema.



Elaboración propia.

Figura 9

Mensaje completo de datos y alertas en el periférico LCD.



Elaboración propia.

co con las características que se muestran en la Figura 8.

En la Figura 8, presenta el mensaje de bienvenida. En la Figura 9, se puede visualizar los datos que fueron registrados y que pueden ser visualizadas en la pantalla:

T1, T2 -> Valor medido de Temperatura °C obtenido por el sensor DHT22 en cada microclima respectivamente.

H1, H2 -> Valor medido de la Humedad % obtenida por el sensor DHT22 en cada microclima respectivamente.

A continuación, se presentan en la misma pantalla las formas abreviadas de las alertas que se requieren tanto atención manual como automática en la 3ra y 4ta línea de la pantalla respectivamente y solo cuando sobrepasen los rangos establecidos en la memoria del controlador, tales como:

T1 -> Alerta de Temperatura ALTA Y BAJA del microclima 1

T2 -> Alerta de Temperatura Elevada del microclima 2

CO2 M1 -> Alerta de Concentración de CO2 en el microclima 1

CO2 MZ2 -> Alerta de concentración de CO2 en el microclima 2

D1NT -> Alerta de Nivel de Agua BAJO y Turbidez del agua ALTO, del depósito 1.

En la posición D1NT pueden aparecer las siguientes alertas:

D1_T -> Alerta de Turbidez del agua ALTO, del depósito 1.

D1N -> Alerta de nivel de Agua BAJO, del depósito 1.

D2NT -> Alerta de Nivel de Agua BAJO y Turbidez de agua ALTO, del depósito 2.

En la posición D2NT pueden aparecer las siguientes alertas:

D2_T -> Alerta de Turbidez del agua ALTO, del depósito 2.

D2N -> Alerta de nivel de Agua BAJO, del depósito 1

4.3.1.1. Lazos de Control

Para cada microclima se realizaron lazos de control independientes que permiten mantener dentro de las condiciones deseadas para cada caso.

- **Lazos de Control por Temperatura**

En este tipo de lazo de control, cuyo diagrama de control se optó por usar el sensor DHT22 para la lectura de temperatura de ambos microclimas, mientras que los actuadores empleados para regular la temperatura dependiendo del estado en que se encuentre fueron los siguientes:

Temperatura > 23° C → Ventiladores Coolers

Temperatura < 15° C → Focos Incandescentes

- **Lazos de Control por Calidad de Aire**

En este tipo de lazo de control se optó por usar los sensores de calidad de Aire MQ7 y MQ135 para cada microclima. Para ambos casos cuando la concentración de CO2 supere el umbral establecido se activarán los ventiladores Coolers para poder disipar dicha concentración: Calidad de aire > 75% de CO2 → Ventiladores Cooler

- **Lazos de Control por Luminosidad**

En este lazo de control se opta por registrar la intensidad de luz que ingresa al invernadero. Por este motivo el sensor LDR – foto resistivo, permite registrar el valor de Lúmenes que ingresan, para lo cual cuando el valor sea el mínimo establecido se procederá a activar las luces LED que se encuentran instaladas en el invernadero: Lúmenes < 300 Lúm → Luces LED

- **Lazos de Control por Temporizador**

Para el control por tiempo, se empleó un dispositivo adicional el cual se conoce como SONOFF, este dispositivo permite activar y desactivar un actuador cada cierto tiempo dependiendo del horario establecido en el aplicativo del fabricante. El dispositivo comanda las bombas que circulan las soluciones nutritivas por los tubos y simultáneamente activa la bomba de oxígeno que se encuentra dentro del reservatorio con

la solución nutritiva en cada microclima. Este sistema está programado para encenderse las bombas en los siguientes horarios:

1er. 06:00am /2do. 11:00am /3er. 15:00 /4to. 21:00

Luego de cada estado de encendido, se mantendrán activadas las Bombas, por un periodo de 15 min para luego pasar al estado de apagadas. Manteniendo dicho estado hasta el siguiente horario programado en el dispositivo.

4.3.2. Simulación del Sistema

Para las pruebas de funcionamiento se procedió a realizar las simulaciones en el entorno de Proteus, en el cual se diseñó un entorno similar a lo instalado en el Invernadero. En la Figura 10, se presenta la simulación del funcionamiento de los lazos de control antes expuestos, para lo cual se empleó la programación del Arduino IDE y Java, para evaluar su comportamiento y estabilidad. Posteriormente una vez probado en el Proteus, se procedió a realizar la colocación de los dispositivos en el invernadero para la etapa de pruebas y transmisión.

El SM, cuenta con dos secciones:

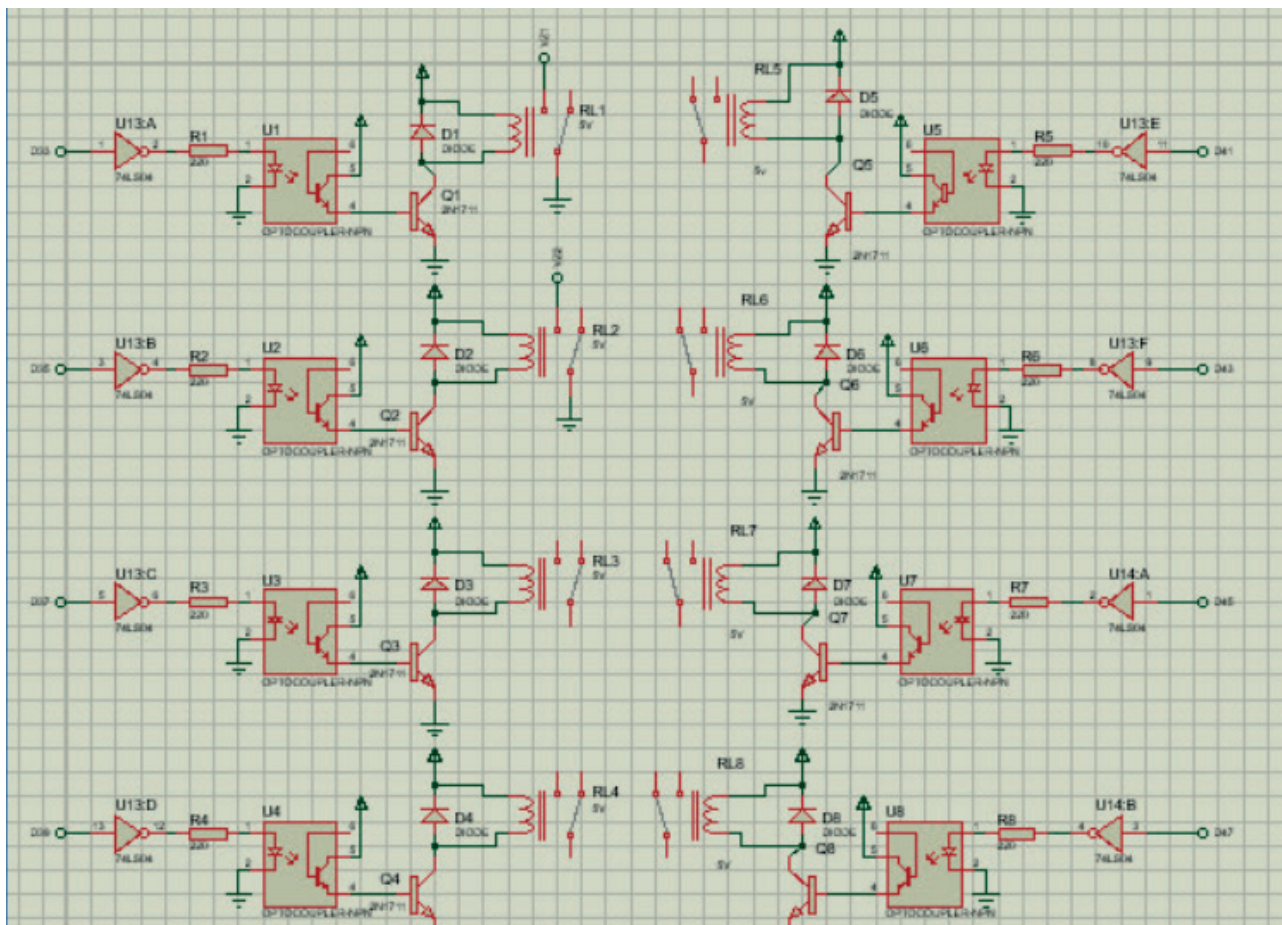
1. **Usuario Admin**, es el encargado de gestionar las cuentas vinculadas a la interfaz para el envío de las notificaciones, así como también solicitar los gráficos de las informaciones almacenada en la base de datos. En este entorno permite a su vez ingresar la información tanto para configurar la dirección IP del MODULO ESP a ser usado como los rangos límites para las alertas. Para poder ingresar será necesario escribir el usuario y la contraseña, tal como se muestra en la Figura 11.

En el entorno Administrador, se encuentran diversas opciones, ver Figura 12.

Usuarios: permite crear y eliminar cuentas vinculadas al registro de alertas y envío de todo tipo de información del sistema. Para ingresar un nuevo usuario, es suficiente con dar clic en agregar e ingresar los campos solicitados para la creación de un nuevo usuario, hasta un máximo de 100 usuarios.

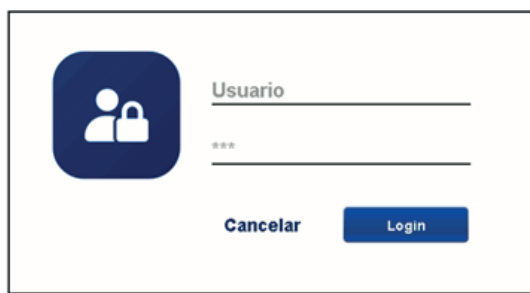
Reportes: Permite crear los gráficos con los datos almacenados en la base de datos del programa, solo es necesario definir un periodo de tiempo, indicando la fecha de inicio de la muestra tomada y la fecha deseada para poder

Figura 10
Entorno de Simulación Proteus.



Elaboración propia.

Figura 11
Mensaje de Ingreso a la interfaz.



Elaboración propia.

generar dicho gráfico, como se muestra en la Figura 13.

Luego, se podrá crear más de un gráfico con los datos almacenados, en el rango de fechas indicada de ambos microclimas, como se muestra en la Figura 14.

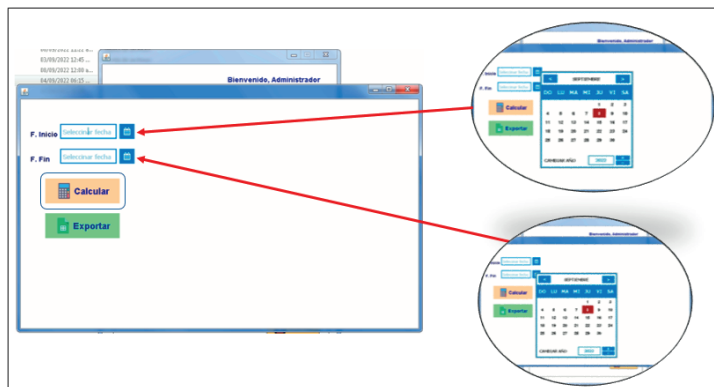
2. **Usuario Test**, en esta sección permite visualizar en tiempo real los valores escogidos como de temperatura y humedad obtenidos por los sensores, así mismo el usuario puede visualizar las alertas que llegan a la interfaz en cuanto el valor medido supere el valor establecido anteriormente. También se podrá ver los datos envia-

Figura 12
Ventana Administrador Interfaz.



Elaboración propia.

Figura 13
Ventana Administrador. Gráficos de la base de datos.



Elaboración propia.

Figura 14
Ventana Administrador. Gráfico de las temperaturas en ambos microclimas.

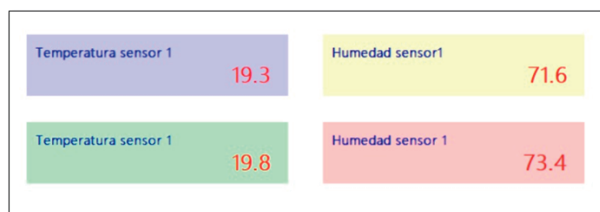


Elaboración propia.

dos que se encuentran siendo registrados en la base de datos en tiempo real, así como también las alertas en cuanto sobrepasen o disminuyan los rangos preestablecidos, ver figura 15.

Figura 15

Ventana Administrador. Estado de la Temperatura y Humedad.



Elaboración propia

V. DISCUSIONES

En la entrevista de validación de la baja fidelidad, con el objetivo de conocer aspectos generales del prototipo del invernadero hidropónico sin entrar en detalles técnicos:

- Las entrevistas llevadas a cabo han permitido resolver el problema de tener a la mano productos saludables y orgánicos producidos por medio de un invernadero inteligente casero.
- En las entrevistas realizadas se conoció el interés de consumir alimentos cultivados en su propio hogar a través de un invernadero.
- El mayor número de entrevistados estaba de acuerdo con las dimensiones propuestas por motivo de patente no se coloca las medidas ni fotos. Asimismo, hubo algunas respuestas que indicaron que en cuanto al ancho del invernadero debe ser menor, fue necesario realizar ajustes tanto el ancho y largo.
- A través de la entrevista se conoció que por su facilidad de tener a la mano sus cultivos podrían tenerlo dentro de la cocina.
- Creación de un portafolio de clientes potencial para la demostración final del invernadero hidropónico para el hogar.
- También se conoció que estarían dispuestos a adquirir el invernadero con un precio entre S/. 600 a S/. 1000.

Sobre la implementación de los equipos de automatización y actuadores:

- Se logró comprobar que la respuesta de los sensores de temperatura DHT22 permiten

registrar en tiempo real los cambios de temperatura generados por los cambios de clima y por el funcionamiento de los ventiladores.

- Los ventiladores (coolers) que permiten regular la temperatura de ambos microclimas en forma independiente, sin embargo, no son suficientes para lograr temperaturas por debajo del parámetro sugerido de 19°C, para este paso se requiere la instalación de aires acondicionados o refrigerantes que permitan circular por ambos microclimas cuando las temperaturas sean muy altas, aun en estudio.
- El sistema de ventilación permite la extracción del aire caliente que se genera en el invernadero en cada uno de los microclimas.
- El sistema de control mediante SonOff y las bombas de agua y generador de O₂, permiten una buena circulación de agua mediante los maceteros que albergan las plantas. La correcta circulación por medios de estos, se desarrollaron de manera satisfactoria.

VI. CONCLUSIÓN

El prototipo del invernadero hidropónico para hogar fue implementado y actualmente se encuentra funcionando en la etapa de prueba, integrando varios módulos a partir del diseño arquitectónico, hidráulico, eléctrico juntamente con los sensores y actuadores, análisis de la solución nutritiva, tipos de plantas y verduras y hortalizas, gracias al apoyo de diversos especialistas y expertos. Por tal motivo, se encontró que la investigación en el área de invernaderos automatizados tiene un enfoque multidisciplinario, ya que involucran varias áreas de conocimiento.

El uso del invernadero automatizado dentro de casa, se comprobó que la producción es de mayor rendimiento de verduras y hortalizas a bajo costo, mejorando la alimentación, también las verduras y hortalizas frescas a la mano, libre de agrotóxicos proporcionado bienestar en el hogar.

Por lo tanto, se espera que la presente investigación pueda contribuir al desarrollo sostenible, con invernaderos hidropónicos inteligentes para el hogar generando beneficios económicos y bienestar para la familia.

VII. AGRADECIMIENTO

Se agradece a todo el equipo de Spin Off que ha trabajado para lograr el prototipo del invernadero

automatizado hidropónico NFT para el hogar, la Incubadora 1551-UNMSM por todo el apoyo proporcionado y al Vicerrectorado de Investigación UNMSM por el lanzamiento del Spin Off 2022.

REFERENCIAS

- [1] Abul-Soudl, M., Emam, M. & Mohammed, M. (2021). Smart Hydroponic Greenhouse (Sensing, Monitoring and Control) Prototype based on Arduino and IOT. *International Journal of Plant & Soil Science*. ISSN: 2320-7035.33(4):63-77.
- [2] Agrotendencia (2019). Cultivo hidropónico. Reciclaje de nutrientes y beneficios. <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/hidroponia/tipos-de-sistemas-de-hidroponia/>
- [3] Ahour, Y.; Ouammi, A. & Zejli, D. (2021). Technological progresses in modern sustainable greenhouses cultivation as the path towards precision agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 147, p. 111251. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121005384>
- [4] Alpay, Ö. & Erdem (2018), E. Climate Control of and Smart Greenhouse based on Android. *International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, Turkey, p. 1-5. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/8620803>
- [5] Alipio M., Dela Cruz A., Doria J. & Fruto R. (2019). Engineering in Agriculture, Environment and Food. On The design of Nutrient Film Technique hydroponics farm for smart agriculture. Vol. 12, Issue 3, pages 315-324. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.02.008>
- [6] Andrade H. (2021). Hidroponia: Uma revisao de literatura. Repositorio Institucional da Fundacao Educacional de Ituverava. <https://repositorios.cloud/feituverava/handle/123456789/3625>
- [7] Andrianto, H., Suhardi & Faizal, A. (2020). Development of smart greenhouse system for hydroponic agriculture. 2020 International Conference on Information Technology Innovation, ICITSI 2020 – Proceedings. Página 335-340. ISBN: 978-172818196-7.
- [8] Bedoya L. & Suárez S., (2020). Automatización de la técnica de hidroponía NFT en invernadero, con monitoreo web. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/11958>
- [9] FAO (2021). The State of Food Security and Nutrition in the world 2021. The world is at a critical juncture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/2021/en/>
- [10] Herlisman L; Pinontoan R; Uranus H. (2022). Hydroponic vegetable cultivation with nutrient film technique system in a greenhouse based on the Internet of Things. *AIP Conference Proceeding*. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0118502>
- [11] Idoje G. et.al. (2023). Comparative analysis of data using machine learning algorithms: A hydroponics system use case. *Smart Agricultural Technology*. Vol.4,100207. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100207>
- [12] La Notte, L. et al. (2020) Hybrid and organic photovoltaics for greenhouse applications. *Applied Energy*, v. 278, p. 115582. Retrieved by www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192031093X
- [13] Mahkeswaran R & Keong A. (2020). Smart and Sustainable Home Aquaponics Systems with Feature-Rich Internet of Things Mobile Application.6th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR). DOI: 10.1109/ICCAR49639.2020.9108041
- [14] Reddy P. (2016). Sustainable crop protection under protected cultivation. Springer Singapore. ISBN 978-981-287-952-3.
- [15] Rodrigues R., (2019).Efeito da concentracao da solucao nutritiva em cultivares de alface em sistema hidroponico tipo NFT, em clima semiárido. Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/42117/1/2019_tese_rrandrade.pdf
- [16] Sahour (2021), A. Greenhouse Climate Controller by Using of Internet of Things Technology and Fuzzy Logic. *Instrumentation Measure Métrologie*, Edmonton, v. 20, n. 1, p. 29-38, fev. 2021. Disponível em: <https://www.iieta.org/journals/i2m/paper/10.18280/i2m.200105>. Acesso en: 13 junio 2023.
- [17] Sarraipa J., Artífice A., Jimenez H. (2019). Metodología De Evaluación De Prototipo Innovador. Red CADEP Acacia. Programa Erasmus+de la Unión Europea. Acceso en 06 mayo 2023. <https://acacia.red/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa->

Metodologi%CC%81a-de-evaluaci%C3%B3n-de-prototipo-innovador.pdf

- [18] Siddique, M., et al. (2016). Automation and monitoring of greenhouse. International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT), IEEE, Karachi, pp. 197–201. <https://doi.org/10.1109/ICICT.2017.8320190>.
- [19] Soledispa-Rodríguez, E. (2021). La investigación de mercado impacto que genera en la toma de decisiones. Revista Científica. Dominio de las Ciencias. ISSN: 2477-8818. Vol. 7, núm. 1, Especial. Acceso en febrero 2021, pp. 79-94. DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1692>
- [20] Tobar, L. (2019). La investigación aplicada a los estudios de mercado. Realidad y Reflexión. ISSN 1992-6510. Año 19, N° 50 San Salvador, El Salvador, Centroamérica. Revista Semestral Enero-Junio. Acceso en 1 junio 2013. <https://www.camjol.info/index.php/RyR/article/view/9040/10569>
- [21] Vishwakarma, A. IOT Based Greenhouse Monitoring and Controlling System. 2020 IEEE Students Conference on Engineering Systems (SCES), 2020, p. 1-6. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9236693>
- [22] Zhang, W. et al. (2021). Robust Model-based Reinforcement Learning for Autonomous Greenhouse Control. Asian conference on Machine Learning, PML 157: 1208-1223. arXiv Preprint, 2021. <https://proceedings.mlr.press/v157/zhang21e>

Fuentes de financiamiento:

Propia.

Conflictos de interés:

El autor declara no tener conflictos de interés.