

**Diseño e Implementación de un Prototipo para Monitoreo Remoto y Control de un Cultivo
Hidropónico utilizando Algoritmos de Inteligencia Artificial para las Variables de
Humedad y Temperatura**

Leidy Yurany Montero Vargas

Valentina Milord Morad

Asesor

Bladimir Salas Quinchucua

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela ciencias básicas, tecnología e ingeniería - ECBTI
Ingeniería Electrónica.

2026

Nombre director de Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo, ante todo, a Dios, quien ha sido guía, fortaleza y Nota de inspiración no solo en este proceso académico, sino a lo largo de toda nuestra vida. A mis hijos, Miguel Ángel y Joshua David, quienes son mi motor diario, el impulso constante para superarme y seguir adelante.

A mi madre, Lucila, una mujer ejemplar que me enseñó a enfrentar los desafíos con valor, perseverancia y amor.

Le dedico estos esfuerzos a mis padres Faride Morad y Rubén Milord, a mi tía Luisa Fernanda y a familiares más cercanos, quienes han estado siempre presentes como un apoyo incondicional, incluso en los momentos más difíciles. A mis amigos, cuya compañía, aliento y respaldo han sido fundamentales durante este camino. Extiendo esta dedicatoria, con especial gratitud, a los ingenieros Noel Zambrano, Hollman Eduardo Segura y Elber Fernando Camelo, así como a los ingenieros, tutores y compañeros del semillero de robótica SIART de Ibagué, quienes fueron aliados clave en el desarrollo práctico de este proyecto.

Finalmente, reitero mi agradecimiento a Dios, creador de toda sabiduría, por permitir que este trabajo haya sido posible desde su origen hasta su culminación.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a Dios por permitirnos alcanzar este importante logro. Extendemos también nuestra gratitud a nuestras familias, amigos y a los tutores de la UNAD, cuyo apoyo constante fue fundamental a lo largo de este proceso. Agradecemos de manera especial al Ing. Hollman Eduardo Segura y al Ing. Elber Fernando Camelo por su valiosa orientación durante el desarrollo del proyecto aplicado. Finalmente, extendemos nuestro reconocimiento al Ing. Bladimir, cuyo respaldo en la etapa final contribuyó positivamente a la culminación del mismo.

Resumen

La hidroponía vertical representa una alternativa innovadora y sostenible para la producción de alimentos en espacios reducidos, especialmente en entornos urbanos donde el acceso a tierra cultivable es limitado. Este documento presenta el desarrollo e implementación de un sistema hidropónico vertical automatizado para el cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*), diseñado para operar en un entorno doméstico tipo apartamento.

El sistema integra un sensor DHT11 y un sensor DS18B20 para monitoreo de temperatura y humedad ambiental, conectados a un microcontrolador ESP32 con conectividad inalámbrica, lo cual permite su incorporación a un entorno de Internet de las Cosas (IoT). Adicionalmente, se desarrolló un modelo de inteligencia artificial basado en árboles aleatorios (Random Forest), entrenado con datos propios y en tiempo real, con el propósito de anticipar el comportamiento de las variables monitoreadas y accionar automáticamente el sistema de bombeo cuando sea necesario.

Durante el ciclo de cultivo, se evaluó la respuesta del sistema automatizado en cuanto a eficiencia en el uso del agua, estabilidad de las condiciones ambientales y calidad de la producción. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica y económica del sistema, evidenciando su potencial como una solución escalable, replicable y de bajo costo para la agricultura urbana inteligente.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Hidroponía Vertical, Automatización, Agricultura Urbana, IoT.

Abstract

Vertical hydroponics offers an innovative and sustainable solution for food production in confined urban spaces, where access to arable land is limited. This article presents the development and implementation of an automated vertical hydroponic system for growing coriander (*Coriandrum sativum*), designed for a domestic apartment environment.

The system incorporates DHT11 sensors for monitoring temperature and humidity, a DS18B20 sensor for water temperature, all connected to an ESP32 microcontroller with wireless connectivity, enabling integration within an Internet of Things (IoT) environment. Furthermore, an artificial intelligence model based on Random Forests was developed and trained using both historical and real-time data to anticipate the behavior of monitored variables and automatically trigger the pumping system when necessary.

Throughout the full cultivation cycle, the system's performance was evaluated in terms of water-use efficiency, environmental condition stability, and crop quality. The results confirm the technical and economic feasibility of the proposed system and highlight its potential as a scalable, replicable, and low-cost solution for smart urban agriculture.

Keywords: Artificial Intelligence, Vertical Hydroponics, Automation, Urban Agriculture, IoT.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Justificación	18
Objetivos	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
Marco De Referencia	21
Estado del arte	21
Cultivos Hidropónico Urbanos	24
Marco Teórico	27
Marco Conceptual	28
Humedad	28
IOT	30
Marco Normativo	32
Metodología	34
Alcance	36
Título del proyecto	36
Delimitación del Proyecto	36
Objetivo del Alcance	36
Entregables del Proyecto	36
Límites del Proyecto	37
Público Objetivo	37

	8
Diseño de la Solución para el Proyecto	38
Diseño de la Plataforma Tecnológica	40
Solución Implementada	41
Diseño Electrónico	42
Procesamiento y Transmisión de Datos	43
Refrigeración y Alimentación de las Plántulas.	44
Diseño del Cultivo NFT	45
Explicación Detallada del Funcionamiento de la Solución Implementada	45
Registro de Datos, Alarmas e Indicadores	50
Referencias	74

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Árbol de Causa y Efecto de la Problemática</i>	17
Figura 2 <i>Sistema de Cultivo Vertical para el Hogar</i>	39
Figura 3 <i>Imagen de Referencia sobre el Funcionamiento del Sistema</i>	40
Figura 4 <i>Esquema de Etapas de Diseño</i>	41
Figura 5 <i>Sensor DHT11 Instalado en el Prototipo</i>	46
Figura 6 <i>Sensor DS18B20 para Temperatura Específica del Agua</i>	47
Figura 7 <i>Prototipo para Interiores de Forma Vertical a Escala del Proyecto</i>	48
Figura 8 <i>Esquemático Parcial de Tarjeta Diseñada para la ESP32, y Conexión de Sensores</i>	48
Figura 9 <i>Diagrama Red Neuronal</i>	51
Figura 10 <i>Diagrama de Bosque Aleatorio</i>	53
Figura 11 <i>Procesamiento de Datos</i>	54
Figura 12 <i>Grafica Comparativa del Arbol Aleatorio</i>	56
Figura 13 <i>Grafica de Respuesta de Red Neuronal Comparativa con el Sensor Durante Toma de Datos</i>	58
Figura 14 <i>Prototipo en Funcionamiento con Plántulas</i>	62
Figura 15 <i>Grafica de Comportamiento en Ciclo de Activación de la Bomba</i>	63
Figura 16 <i>Comportamientos de Encendido por Temperatura y Ciclo Programado de la Bomba</i>	64
Figura 17 <i>Grafica de Valores de las Perdiciones en Thingspeak y el Sensor de Temperatura en Agua</i>	66
Figura 18 <i>Grafica Comparativa entre Mediciones y Predicciones Realizadas sin Procesamiento de Datos</i>	67

Figura 19 *Comparativa entre Datos Reales y Algoritmo IA con Datos Procesados*

Lista de Tablas**Tabla 1** *Código de Comportamiento*

61

Lista De Apéndices

Apéndice A <i>Sensor DTH11</i>	83
Apéndice B <i>Nodemcu ESP32</i>	87
Apéndice C <i>Diseño Completo de la Tarjeta de Control del Prototipo</i>	91
Apéndice D <i>Plano de Esquema Eléctrico de Tarjeta de Control</i>	92
Apéndice E <i>Ingreso a la Plataforma de App Inventor</i>	93
Apéndice F <i>Plano de Esquema Eléctrico de Tarjeta de Control</i>	94
Apéndice G <i>Splash-Art de Inicio de Aplicativo</i>	95
Apéndice H <i>Diseño de Panel de Inicio del Aplicativo</i>	96
Apéndice I <i>Desarrollo de las Distintas “Screen” o Pantallas del Aplicativo</i>	97
Apéndice J <i>Vista de Desarrollo Gráfico (Botones) del Aplicativo en App Inventor</i>	98
Apéndice K <i>Programación en Bloques para el Menú Principal del Aplicativo</i>	99
Apéndice L <i>Imagen Explicativa de la Compilación como Producto</i>	100

Introducción

El uso de tecnologías emergentes en el sector agrícola surge como una necesidad frente al impacto ambiental que se genera en la agricultura intensiva tradicional. Esta tendencia ha permitido redescubrir métodos alternativos de cultivo empleados por civilizaciones antiguas, los cuales hoy se adaptan a los conocimientos con recursos tecnológicos actuales. Uno de estos métodos es la hidroponía, una técnica que permite el cultivo de plantas sin la utilización de suelo, empleando el agua como principal medio de nutrición. A través de este sistema es posible producir especies, especialmente herbáceas, en espacios no convencionales, garantizando el control de factores esenciales como la luz, la temperatura, el agua y los nutrientes.

El avance tecnológico y la incorporación de la informática en los procesos agrícolas permite la automatización de los sistemas hidropónicos en la ejecución de las actividades de cultivo. Un sistema hidropónico desarrollado en un ambiente no controlado, al incorporar sistemas de monitoreo automatizado y el uso de algoritmos de predicción, permite mejorar la característica de repetibilidad, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para la innovación (Beltrano & Gimenez, 2015).

En Colombia, sin embargo, estos métodos de cultivo aún son escasos y, en su mayoría, carecen de automatización. A ello se suma que el sector agrícola es el principal demandante de recursos hídricos, y gran parte de su producción se basa en cultivos tradicionales dependientes del suelo y de extensas áreas de terreno, lo que contribuye a la tala de bosques, la contaminación de aguas hídricas y el agotamiento de los suelos.

Este proyecto plantea el diseño e implementación de un sistema de monitoreo para cultivos hidropónicos, el cual permite la supervisión en línea y el registro continuo de variables como la humedad relativa y la temperatura. Adicionalmente mediante el uso de algoritmos de

inteligencia artificial el sistema realiza predicciones basadas datos propios y actualizados en línea, eso posibilita la activación preventiva del sistema de riego antes de que las condiciones ambientales excedan los límites establecidos para el cultivo.

Esta estrategia además de permitir un riego oportuno y eficiente, en cuanto a la necesidad del cultivo, tiene un efecto indirecto contribuyendo a la reducción del consumo innecesario de agua en sistemas hidropónicos adaptables. Además, el sistema permite la visualización remota del estado de los parámetros del cultivo en tiempo real, ofreciendo al usuario final una herramienta de gestión accesible para la toma de decisiones informadas.

Descripción y Planteamiento del Problema

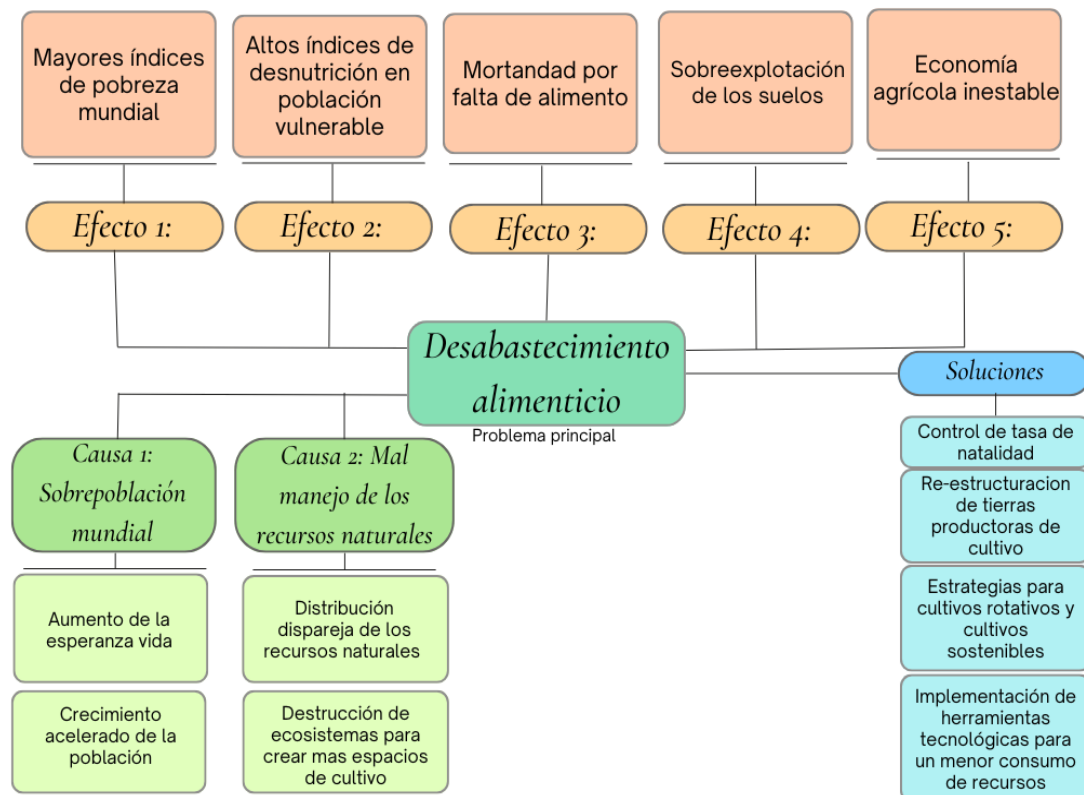
Los desastres naturales, el cambio climático y las enfermedades que atacan los cultivos y el ganado, todo lo anterior se ven agravados por el impacto generado después de la pandemia de covid-19 en la agricultura y la seguridad alimentaria, según un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Organización de Naciones Unidas - ONU, 2023) La población humana ha alcanzado tales proporciones que se teme excederá la capacidad del planeta para sostenerla. Cerca del 80% de la población humana se encuentra en los países en desarrollo. El crecimiento de la población también se encuentra también concentrado en estos mismos países. Cada año, la población humana aumenta en 90 millones de personas. Cerca del 90% de estos nuevos habitantes del planeta se localiza en el mundo en desarrollo. Como consecuencia, las soluciones propuestas se encuentran dirigidas a controlar la población de los países en desarrollo. (Centeno, 2004).

A raíz de estas problemáticas que han ido creciendo exponencialmente al crecimiento y desarrollo de la humanidad, desde 1980 se han venido implementando planes de apoyo a la agroindustrias, teniendo en cuenta los objetivos de sostenibilidad propuestos por las naciones unidas y adoptados por Colombia, más específicamente los objetivos 2 y 9 (Organización de Naciones Unidas, 2018), los cuales están enfocados en el desarrollo sostenible de la agricultura aplicando las tecnologías de la Industria 4.0 e IOT (Internet Of Things), con el fin de que este desarrollo de tecnificación en la agroindustria sea una herramienta de ayuda para suplir la demanda de alimentos mundial, así como una vía de desarrollo para los países de Latinoamérica (en este caso concreto de nuestro país), usando los conocimientos y tecnología actual (Organización de Naciones unidas ONU, 2025) Se ha evidenciado en muchos prototipos para estaciones de monitoreo existentes que los datos recolectados por los sensores de las variables

mencionadas son obtenidos in situ para su posterior análisis y no poseen la capacidad de transmitir estos datos en tiempo real a un dispositivo remoto, adicionalmente los sistemas automatizados no han sido desarrollados para aprender de manera autónoma y que de esta manera el mismo sistema pueda tomar decisiones sin la intervención humana. Es aquí donde nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Cómo desarrollar un Sistema que posea control y supervisión para un cultivo hidropónico Indoor usando algoritmos de Inteligencia Artificial?

Basado en la información recolectada y en los avances logrados durante el desarrollo de este proyecto, se propone un sistema de monitoreo para cultivos hidropónicos, capaz de medir en tiempo real variables ambientales clave como la humedad relativa y la temperatura. La información será visualizada por el usuario a través de una interfaz accesible desde un dispositivo móvil, lo que permite una supervisión continua y remota del cultivo. Además, incorpora capacidades de análisis de datos y predicción mediante algoritmos de inteligencia artificial, lo que permite activar automáticamente sistemas de actuación, como bombas o mecanismos de riego, con base en los valores registrados y sus tendencias. Esta automatización contribuye a una gestión más eficiente de los recursos y a una producción agrícola más sostenible.

Figura 1*Árbol de Causa De Efecto de la Problemática*

Nota. La imagen representa las causas y consecuencias del desabastecimiento alimenticio a nivel mundial y adicional muestra las posibles soluciones. Elaboración Propia, 2026.

Justificación

La economía colombiana depende en gran medida del desarrollo agrícola, este sector acumula varios años seguidos con crecimientos positivos en el primer trimestre y, además, que la coyuntura local e internacional ha impulsado las alzas en los precios, pero también con ello se han aumentado los costos para la agroindustria por los retos logísticos tanto en materia interna por la geografía nacional, como en la comercialización al exterior de bienes agrícolas, la compra y fabricación agro insumos de calidad. Si bien ha mejorado el panorama nacional, siendo la agricultura una base fundamental del PIB nacional, pasando de aportar 4,3 entre los años 2023 - 2024 a 7,1 entre los primeros periodos de los años 2024 - 2025. Aun con ello, queda un gran camino por recorrer para tecnificar el campo, implementar nuevos sistemas de cultivo y también con ello, aumentar parte de nuestra economía interna mientras aportamos soluciones significativas a la creciente demanda alimenticia actual del país y del mundo. (Escobar Posada y otros, 2021) (DANE, 2025).

Por lo anterior, teniendo en cuenta que desde la pandemia de la COVID-19, la crisis del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación no son las únicas problemáticas que están teniendo repercusiones devastadoras y duraderas alrededor del globo, junto a ello también se encuentra el panorama internacional donde los diferentes conflictos entre países ha provocado el aumento de los precios de los alimentos y la energía en un efecto mariposa que no solo afecta a la zona Euro-Asia, sino a toda la población mundial al crear una crisis en el costo de vida que afecta a miles de millones de personas en el globo terráqueo. Todo esto ha sido reiterado por la ODS en el informe de desarrollo sostenible del año 2023, donde se hace hincapié que los avances para más del 50 % de las metas de los ODS son endeble e insuficientes, el 30% están estancados por los conflictos o han retrocedido, llevando a que metas

tan esenciales como la numero 2 “Hambre Cero” que se enfoca en la seguridad alimentaria de la humanidad, la 12 “Producción y consumo responsable” que pretende garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles de materiales y alimentos a nivel mundial o la 13 “Acción por el clima” que se enfoca en las acciones de mitigación a los cambios climáticos actuales a través de las políticas limpias tecnológicas e industriales, se vean profundamente afectados , haciendo que los planteamientos sobre la pobreza, el hambre y el clima se conviertan en quimeras de lo que podría haber sido un futuro provisorio mundial según la agenda 2030. Todo esto afecta especialmente a los países en desarrollo como Colombia, quienes se llevan la peor parte de la incapacidad colectiva social para invertir en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). (Organización de Naciones Unidas, 2023).

La implementación de **tecnologías emergentes** que fortalezcan los sistemas de cultivo sin generar un impacto ecológico significativo y que, además, sean accesibles para la mayoría de la población, permite optimizar la producción agrícola de manera sostenible. El registro y análisis de **variables en tiempo real** sobre el comportamiento y el estado de salud del cultivo posibilitan un seguimiento continuo del proceso, lo que facilita la **toma oportuna de acciones correctivas y preventivas**. De esta forma, se evita que el cultivo llegue a estados de deterioro irreversibles, mejorando tanto la **calidad como la productividad**.

Con el propósito de **mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos**, este proyecto plantea la integración de **inteligencia artificial (IA)** para la generación de información de forma remota a través de un sistema de telemetría y toma de acciones automatizadas, a partir de la activación de actuadores, mejorando el proceso del cultivo hidropónico. De esta manera, la tecnología se convierte en un **aliado estratégico** en la supervisión y en la toma de decisiones dentro de los procesos de cultivo, permitiendo el acceso a **datos en tiempo real**, su **visualización gráfica** y el **registro histórico** de las variables monitoreadas (Jiménez López y otros, 2020).

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo enfocado al uso de inteligencia artificial (AI) para el análisis, monitoreo remoto y control de las variables de Humedad Y Temperatura en un cultivo Hidropónico.

Objetivos Específicos

Implementar un sistema de transmisión de datos en tiempo real utilizando herramientas IoT.

Configurar un sistema de inteligencia artificial (AI) para la recopilación y análisis de los datos obtenidos del cultivo hidropónico.

Instaurar un sistema de control de flujo en el tanque de abastecimiento para el cultivo hidropónico.

Diseñar un aplicativo que permita visualizar y graficar la información obtenida de forma comprensible para el usuario final.

Validar el funcionamiento del prototipo.

Marco de Referencia

Estado del Arte

La incidencia del hambre en el mundo incrementó drásticamente entre 2019 y 2021, y se ha mantenido hasta 2023, afectando a más del 9% de la población mundial en 2023, comparado con el 7.9% de 2019. Se prevé que más de 582 millones de personas sufrirán desnutrición crónica en 2030. (Organización de Naciones Unidas - ONU, 2023) A nivel mundial se está realizando distintos esfuerzos a nivel mundial para mejorar las producciones alimentarias e intentar mitigar el impacto de la escasez de alimentos a nivel global, es por ello que distintas organizaciones, estados, universidades, emprendedores y alumnos, han aportado de su parte en el desarrollo y optimización de herramientas que permitan alcanzar dichos objetivos.

Una de las investigaciones relacionadas a la automatización de procesos para la agroindustria es el proyecto *Módulo Terminal Remoto, AgriculTIC* perteneciente al grupo de investigación *SISTEMIC de la universidad de Antioquia* describe el desarrollo de un Módulo Terminal Remoto, escalable y compatible con diversidad de sensores (temperatura, pH, humedad relativa y nivel de oxígeno, entre otros) y actuadores disponibles en el mercado para la automatización y monitoreo de procesos agroindustriales, con posibilidad de intervención en sitio o a través de servicios de Internet de las cosas (IoT). (Chaparro Mesa, 2021).

Una de las investigaciones relacionadas al énfasis del proyecto es el artículo *Greenhouses within the Agricultural 4.0 interface* perteneciente a la universidad de Ceara (Universidade Federal do Ceará) de Brasil donde se recalca el uso de la digitalización en la agricultura, con big data, Internet de las cosas (IoT), realidad aumentada, robótica, sensores, impresión 3D, integración de sistemas, Internet del futuro, conectividad ubicua, inteligencia artificial, gemelos digitales y blockchain entre otras aplicaciones tecnológicas que se ha intensificado recientemente debido a la alta demanda de productos para el consumo con alta calidad, de demanda constante y con la suficiente seguridad en su producción; Todo aquello ha llevado a una transformación en la producción agrícola, particularmente enfocada en la producción intensiva en invernaderos, donde asiste en todas las etapas del ciclo productivo desde la siembra hasta la cosecha, lo que promueve una cadena integrada de productos y servicios digitales y brinda seguridad en la producción y comercialización y satisfacción del usuario, así como un entorno de siembra de precisión. Este tipo de producción de cultivos de precisión demanda un trabajo coordinado de mecanización, automatización, digitalización y robótica aplicada en lo que se conoce como Agricultura 4.0, donde se controla los datos reales de microclima, corrección nutricional, fertilización y riego, así como control de pesticidas o fitosanitarios que pueden ser recogidos por tecnologías y transmitidos instantáneamente a través de Internet para optimizar la toma de decisiones, estabilidad y manejo del cultivo protegido, tecnificado y robotizado en todas las fases de producción, lo que garantiza la sostenibilidad del sector. (Costa y otros, 2020).

En la investigación relacionada al artículo Comparación y selección de técnicas de inteligencia artificial para pronosticar las producciones de leche bovina perteneciente a la revista científica de la Habana, la cual se basa en los pronósticos, los cuales constituyen una herramienta efectiva para la toma de decisiones, principalmente en el sector de la industria láctea porque

contribuyen a mejorar la gestión del rebaño lechero, ahorrar energía en las granjas y optimizar las inversiones de capital a largo plazo. Basado en esta idea de pronosticar el comportamiento de un producto (En el caso de este proyecto la producción láctea) para poder realizar una toma de decisiones óptima y brindar una mejoría en la producción se toma como referencia para generar predicciones que ayuden a la toma y ejecución de acciones para la calidad del cultivo de forma similar, basándonos en la implementación de una IA para realizar dichas predicciones (Perdigón Llanes, 2021) Antecedentes de la hidroponía.

La hidroponía, se ha desarrollado con una mayor velocidad a partir de experimentos para determinar los elementos que intervienen en el crecimiento de las plantas, pero se tiene registros de estos cultivos comenzaron a implementarse en fechas cercanas al año 1600 de una forma más cercana a lo que conocemos hoy en día. No obstante, el crecimiento de las plantas sin suelo es conocido desde la antigua babilonia, en los famosos jardines colgantes, los cuales se alimentaban del agua que corría por medio de canales. Asimismo, hace más de 1000 años ya se practicaba la hidroponía en China, India y Egipto (orillas del río Nilo), o las chinampas eran construidas con cañas y bejucos que flotaban en el lago Tenochtitlán (México).

En 1699, Woodward demostró finalmente cómo las plantas obtenían alimentos, para el año 1860 los alemanes Sachs y Knop fueron los primeros en hacer crecer las plantas en una solución nutritiva acuosa, llamando a dicho proceso como nutricultura, mientras que en 1938 W.F. Gericke, profesor de la Universidad de California, logró establecer con éxito unidades de cultivo sin tierra de manera comercial, bautizando a este sistema productivo como hidroponía y es considerado el padre de esta moderna técnica de cultivo. (INTAGRI - plataforma de capacitación Agrícola, 2024).

La hidroponía inicialmente se comienza en cultivos en agua, con lo cual se demostró que brindándole a la planta los elementos necesarios para su crecimiento, daba verdaderos resultados sin necesidad de la tierra. Este proceso comenzó en pequeña escala en las islas del Pacífico por tropas americanas estacionadas, donde no era posible arar, solo la hidroponía. Tanto fue así que en la localidad de Chofu llegaron a las 22 hectáreas cultivadas de esta manera, después de la segunda guerra mundial, la armada de los estados unidos construyó 100 acres de enormes invernaderos en Japón para proveer a sus tropas con vegetales frescos. Las fincas hidropónicas operaron hasta mediados de los años 60. (Buonanno Seves, 2018).

Actualmente, en países desarrollados existe una gran cantidad de invernaderos dedicados a la producción de cultivos hidropónicos, a nivel comercial, que brindan a sus clientes la oportunidad de consumir un producto de un mejor sabor y una mejor calidad. (Rojas Cardona y otros, 2017).

Cultivos Hidropónico Urbanos

¿Qué son los llamados cultivos hidropónicos urbanos o los sistemas de producción en solución nutritiva?

En este sistema se sumerge el sistema radical de las plantas en una solución nutritiva, la cual contiene los elementos nutritivos necesarios para su crecimiento. Dentro de los cultivos en solución nutritiva, se tienen distintos sistemas como se describen a continuación:

Sistema NFT (Nutrient Film Technique)

El sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) que, traducido al español significa “la técnica de la película de nutriente”, es el sistema hidropónico recirculante más popular para la producción de cultivos en el mundo en los últimos años.

Esta técnica consiste en crear una película recirculante de solución nutritiva dentro de tubos de PVC, lo cuales en sus extremos tienen tapas con pequeñas conexiones al final y al inicio para hacer recorrer el agua en todo el conjunto de tuberías que componen al sistema mediante una bomba, que se encuentra en el depósito donde se almacena la solución nutritiva.

Los tubos de PVC tienen orificios en la parte superior, donde se colocan las plantas en cilindros de fomi agrícola para NFT de tal manera que las raíces están en contacto con la película recirculante de la solución nutritiva.

Raíz Flotante

Este método utiliza un medio líquido para el crecimiento de los cultivos. En este sistema las raíces flotan dentro una solución nutritiva, pero las plantas están sostenidas sobre una lámina ligera (la cual generalmente es de unicel), que se sostiene sobre la superficie del medio líquido.

Sistema NGS

En este sistema las raíces se desarrollan en una solución nutritiva recirculante, distribuyendo agua, nutrientes y oxígeno de manera eficiente. Dicho sistema cuenta con distintas capas de polietileno en su interior, dispuestas de manera tal que la solución se va distribuyendo en ellas en forma de cascada. Dentro de estas mismas capas, las raíces van explorando sin restricción alguna hasta un agujero que les permite descender a las capas inferiores de la bolsa de polietileno, esto permite que el sistema se adapte a distintos cultivos.

Sistemas de Producción Expuestos al Aire

Cultivos aeropónicos. Este sistema consiste en colocar un cilindro de PVC u otros materiales en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales por donde se introducen las plantas al momento de realizar el trasplante. Las raíces crecen en la oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire.

Por el interior del cilindro, una tubería distribuye de manera periódica la solución nutritiva a las raíces mediante pulverización a mediana o baja presión. Las plantas crecen bien en aeroponía debido a la excelente aireación de las raíces, dado que la concentración de oxígeno en el aire es 20 veces más elevada en relación a la concentración que existe disuelto en el agua.

Sistemas de Producción en Sustrato

El sustrato es un material sólido (natural o de síntesis) distinto del suelo que, colocado en un contenedor o bolsa, en forma pura o mezcla, permite el desarrollo del sistema radical, el crecimiento del cultivo y pueden intervenir o no en la nutrición de la planta. El sustrato brinda sostén y anclaje a la planta, además de mantener la humedad, drenaje, aireación y facilidad en la absorción de nutrientes para que la planta no tenga ningún problema en su desarrollo.

Sustratos más comunes en horticultura y sus características. Los sustratos que más comúnmente se utilizan en los sistemas de cultivo sin suelo son los siguientes: arena, perlita, lana de roca, turbas, fibra de coco y tezontle. En el Cuadro 1 se presentan algunas características físicas generales de los seis sustratos. (INTAGRI - plataforma de capacitación Agrícola, 2024) (agriculture.basf.com, 2024).

Marco Teórico

Para la aplicación de este proyecto se involucran de forma activa varias áreas de la ingeniería electrónica, telecomunicaciones y sistemas como sería en la implementación de sensores, transmisión en tiempo real, programación y diseño de APK.

Todo lo anterior basándose en la problemática principal del proyecto y la implementación específica de herramientas (Software y Hardware), así como de términos que están intrínsecamente ligados al desarrollo de este.

Marco Conceptual

El marco conceptual de este proyecto se conforma de una serie de conceptos claves propios del proyecto, que requieren ser abordados de forma básica para la comprensión posterior de la información, desarrollo y el cumplimiento de las metas que se tienen en la elaboración del proyecto, como los siguientes:

Humedad

La humedad es importante para que la fotosíntesis sea posible. Si la planta pierde demasiada agua, las estomas se cerrarán, lo cual provocará que la fotosíntesis se frene. Si esto sucede, no podrá absorber más CO₂, y el CO₂ es necesario para mantener en marcha la fotosíntesis.

La humedad también está conectado a la temperatura de una planta ya que esta se regula principalmente mediante la refrigeración a través de la evaporación de agua, si las estomas se encuentran abiertas, estas garantizan la evacuación de una gran parte del calor, por el contrario, si se encuentran cerradas, la temperatura de la planta subirá rápidamente y puede llegar a un punto de no retorno para la planta que conlleve a una producción deficiente o incluso la muerte de esta.

Las estomas abiertas son extremadamente importantes para la fotosíntesis. Cuando las estomas están completamente cerradas, la fotosíntesis no es posible. Cuando este proceso se detiene, la planta no crece. Si se consigue un nivel correcto de humedad en el invernadero y alrededor de la planta, esta será capaz de mantener sus estomas abiertos. En ese caso, el CO₂ puede absorberse y la temperatura de la planta puede regularse mediante evaporación.

Existen distintos modos de optimizar la humedad y el microclima.

Mantener la condensación del invernadero: una cobertura de hojas apropiada, instalación de pantallas/láminas y menos aire procedente del lado de barlovento.

Uso de humidificación de cultivo o de aire.

Mejora del microclima: sistemas de riego por goteo y riego a mano.

Reducción de la radiación para mantener abiertos la mayoría de los estomas posibles;

Esto contribuye a seguir mejorando la producción y la calidad.

Mantener las estomas abiertos es extremadamente importante para la fotosíntesis.

Si se consigue un nivel correcto de humedad en el invernadero y alrededor de la planta, esta será capaz de mantener sus estomas abiertos. En ese caso, el CO₂ puede absorberse y la temperatura de la planta puede regularse mediante evaporación. (Anthura y Bureau IMAC, 2016).

Temperatura

Como ya se mencionó anteriormente, entre los factores climáticos que influyen sobre el cultivo y la producción se encuentra la temperatura, que debe oscilar entre los 18-25 °C para que la planta pueda crecer correctamente y dar su fruto.

Por debajo o por encima de esta temperatura óptima la planta no se consigue desarrollar adecuadamente y es posible que el cultivo no realice su ciclo biológico normal y no alcance su máximo potencial de rendimiento.

Además, la temperatura interviene (junto con otros factores como el CO₂, iluminación, etc.) en ciertas funciones como por ejemplo la apertura o cierre de las estomas, que son imprescindibles en los procesos vitales de la fotosíntesis, transpiración y respiración de la planta. (NutriControl, 2020).

Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión (AP) se define como un conjunto de tecnologías que buscan optimizar la producción agrícola a través del manejo de la variabilidad (espacial y temporal) de los factores de producción del cultivo.

Estas tecnologías se instalan en la maquinaria de campo para ejecutar de una forma más detallada las labores de levantamiento topográfico, nivelación, preparación, surcado, siembra mecanizada, fertilización y cosecha, dependiendo de las características dentro de un lote. (Universidad de Antioquia, 2025).

IOT

Internet of Things (IoT) describe la red de objetos físicos (cosas) que incorporan sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos comunes hasta herramientas industriales sofisticadas.

IoT industrial (IIoT) hace referencia a la aplicación de la tecnología IoT en entornos industriales, especialmente en lo que respecta a la instrumentación y el control de sensores y dispositivos que utilizan tecnologías en la nube.

Recientemente, las industrias han utilizado la comunicación entre máquinas (M2M) para hacer posibles la automatización y el control inalámbrico. Pero con la aparición de tecnologías en la nube y aliadas (como analítica y machine learning), las industrias pueden lograr una nueva capa de automatización y con ella crear nuevos ingresos y modelos de negocio. En ocasiones, IoT recibe el nombre de cuarta ola de la revolución industrial, o bien Industria 4.0. (ORACLE, 2025).

Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial, o IA, es tecnología que permite que las computadoras simulen la inteligencia humana y las capacidades humanas de resolución de problemas. (Stryker & Kavlakoglu, 2025).

La Inteligencia Artificial Débil o estrecha (AI) simula la cognición humana y beneficia a la humanidad al automatizar las tareas que consumen mucho tiempo y al analizar los datos de maneras que los humanos a veces no pueden.

Un muy buen ejemplo de una inteligencia artificial débil es el Siri de Apple, que tiene a Internet como una base de datos poderosa. Siri parece muy inteligente, ya que es capaz de mantener una conversación con personas reales, incluso hacer comentarios sarcásticos y algunas bromas, pero en realidad funciona de una manera muy estrecha y predefinida. Sin embargo, la “estrechez” de su función puede evidenciarse por sus resultados inexactos cuando está involucrado en conversaciones a las que no está programado para responder. (Stryker & Kavlakoglu, 2025).

Marco Normativo

El presente estudio se sustenta en un marco normativo nacional e internacional que impulsa la investigación, innovación tecnológica y desarrollo sostenible en el sector agropecuario, con especial atención a tecnologías alternativas como la hidroponía, orientadas a garantizar la seguridad alimentaria.

En el ámbito nacional, el Estatuto 1 de 2018, reformado en mayo de 2025, establece la importancia de desarrollar actividades de investigación y transferencia tecnológica en el sector agropecuario.

Este estatuto orienta a entidades como Agro-savia a promover procesos de innovación tecnológica que contribuyan al cambio técnico en el sector, facilitando la adopción de tecnologías hidropónicas que permiten cultivos eficientes y sostenibles en espacios limitados, con menor consumo de agua y sin dependencia del suelo agrícola tradicional.

Por otra parte, el Decreto 615 de 1974 busca promover el aumento de la producción agropecuaria y sus insumos. Este decreto abre las puertas para implementar técnicas modernas que mejoren la productividad agrícola. La hidroponía, con sus ventajas para la producción en espacios reducidos y ambientes controlados, encaja dentro de esta visión de progreso.

Además, la Corporación Colombia Internacional (CCI) impulsa proyectos de agricultura moderna no tradicional con enfoque social y orientados al mercado nacional e internacional. La hidroponía, como sistema de cultivo innovador y tecnificado, encaja dentro de esta visión al ofrecer soluciones sostenibles para pequeños productores y comunidades rurales, facilitando la inclusión social y económica.

En el plano internacional, organismos como el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), la FAO, el Programa Mundial de Alimentos y UNICEF, trabajan para mejorar

la seguridad alimentaria y la nutrición. Estos organismos resaltan la necesidad de incorporar tecnologías sostenibles e innovadoras en la agricultura para enfrentar retos como el hambre y la malnutrición. (FAO, 2025) (FAO, 2001) (Programa mundial de alimentos - WFP, 2025) (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, 2025).

Campañas globales, como el reto del Hambre Cero impulsado por el PNUD, así como la iniciativa “Piensa. Aliméntate. Ahorra.”, promueven prácticas que reducen el desperdicio y fomentan un uso responsable de los recursos. La hidroponía contribuye a este propósito al optimizar el uso del agua y minimizar el impacto ambiental. (Organización de Naciones Unidas, 2018) (Organización de Naciones Unidas, 2025).

En conclusión, el marco normativo nacional e internacional ofrece un respaldo importante para la investigación y aplicación de tecnologías hidropónicas, entendidas como una alternativa viable para aumentar la producción agrícola y garantizar la seguridad alimentaria, especialmente en zonas donde las condiciones del suelo o el clima dificultan la agricultura tradicional.

Metodología

En el desarrollo de este proyecto de grado se empleará una metodología mixta, que combina enfoques cualitativos y cuantitativos para abordar tanto el diseño como la implementación del sistema. A partir de esta metodología, se construyó un prototipo funcional de un sistema hidropónico tipo NFT (Nutrient Film Technique), orientado a la producción sostenible de alimentos en espacios reducidos.

El sistema está diseñado para ser accesible y de fácil uso, incluso para personas sin formación técnica, y se apoya en tecnologías existentes del campo del Internet de las Cosas (IoT) y de la inteligencia artificial (IA). En particular, se desarrolló un modelo de IA capaz de clasificar la información generada por sensores de humedad, con el propósito de filtrar mediciones erróneas y mejorar la precisión del monitoreo.

La información validada es posteriormente transmitida y visualizada en una interfaz gráfica comprensible para el usuario final, permitiendo la supervisión remota del estado del cultivo sin necesidad de conocimientos especializados.

Las tecnologías seleccionadas, evaluando su utilidad y aplicabilidad en el contexto del proyecto. De esta manera con los siguientes pasos se podrán alcanzar los objetivos específicos:

Revisión bibliográfica y estado del arte: Realizar una revisión sobre artículos sobre el tema de IoT, como sus elementos, arquitecturas y tipos de conectividad.

Diseño e implementación del prototipo: Requiere una metodología de desarrollo o diseño, porque vas a construir un sistema físico y lógico (hardware + software) que incluye sensores, IA, IoT y control automático.

Implementación del sistema IoT y AI: Involucra experimentación técnica, configuración, pruebas y ajustes, que se enmarcan en una metodología experimental y de desarrollo.

Validación del prototipo: Aquí entra la parte cuantitativa para medir variables como temperatura, humedad, el control del encendido de la bomba de alimentación.

Diseño del aplicativo para usuario final: Se puede incluir investigación cualitativa para validar la usabilidad y comprensión del usuario mediante pruebas o entrevistas.

Todo lo anterior, podemos dividirlo en fases de trabajo:

Fase de Diseño y Desarrollo

Creación del prototipo físico (sensores, actuadores, tanque, etc.)

Desarrollo del software de IoT, integración con IA para análisis y control del encendido de la bomba según la temperatura del agua.

Diseño del Aplicativo para Visualización

Fase Experimental

Pruebas de funcionamiento del prototipo

Recolección de datos cuantitativos (temperatura, humedad, tiempo de respuesta)

Análisis estadístico de resultados para validar desempeño

Ajustes basados en retroalimentación

Validación final

Integración de resultados cuantitativos y cualitativos

Conclusiones sobre la eficacia, usabilidad y aplicabilidad del prototipo

Alcance

Título del Proyecto

Diseño e implementación de un prototipo para monitoreo remoto y control de un cultivo hidropónico utilizando algoritmos de inteligencia artificial para las variables de humedad y temperatura

Delimitación del Proyecto

El proyecto se desarrolla durante el primer semestre del año 2025 bajo la tutela del docente Bladimir Salsa y el semillero de Robótica SIART de la Universidad Nacional abierta y a distancia UNAD. Las pruebas se realizan en un entorno urbano como un apartamento con balcón, con un cultivo hidropónico de ciclo corto (Cilantro), en un espacio adaptado para el fin de realizar las pruebas y generar una producción urbana de alimentos.

Objetivo del Alcance

Diseñar y poner en marcha un prototipo funcional de sistema hidropónico automatizado, con capacidad de monitoreo remoto de variables ambientales (temperatura y humedad del entorno) y control de condiciones del cultivo mediante algoritmos de inteligencia artificial débil. La solución integrará una interfaz de visualización de datos para el usuario, accesible vía aplicativo móvil.

Entregables del Proyecto

Prototipo físico del sistema de cultivo hidropónico automatizado.

Aplicativo de visualización de datos en remoto (App móvil).

Algoritmo predictivo para el ajuste automático de condiciones del entorno.

Informe final de implementación, pruebas y validación del sistema.

Límites del Proyecto

Incluye lo Siguiete

Diseño del sistema físico para cultivo hidropónico a pequeña escala.

Instalación de sensores de temperatura y humedad.

Conectividad inalámbrica entre el prototipo, la plataforma de monitoreo y la visualización por el aplicativo.

Implementación de un algoritmo de predicción (ej. regresión lineal, árbol de decisión) para anticipar variaciones y activar mecanismos de control (flujo de agua).

No incluye lo Siguiete

Monitoreo de variables químicas (como pH o nutrientes).

Escalamiento a sistemas de producción industrial.

Uso de técnicas avanzadas de IA como redes neuronales profundas.

Evaluación económica de largo plazo ni análisis de impacto comercial.

Manual de funcionamiento

Codificación completa desarrollada para el funcionamiento del proyecto.

Público Objetivo

Estudiantes, docentes e investigadores en áreas de automatización, agricultura de precisión y tecnologías sostenibles, así como ciudadanos del común como emprendedores o amas de casa interesados en soluciones tecnológicas aplicadas al agro urbano o en espacios reducidos de bajo costo y que puedan ser implementadas con recursos accesibles en cabeceras municipales.

Justificación del Alcance

El proyecto se enfoca en el desarrollo de un sistema prototípico que sirva como base para futuras soluciones tecnológicas aplicadas al agro, integrando herramientas de monitoreo remoto con algoritmos de predicción simples, orientados a mejorar la eficiencia en el control de variables ambientales críticas. El enfoque es educativo, experimental y de bajo costo, con potencial de ser replicado o escalado en investigaciones futuras.

Diseño de la Solución para el Proyecto

Como se planteó anteriormente, el objetivo de este proyecto es diseñar una solución a escala para un sistema de cultivo vertical supervisado, con el propósito de que pueda ser posteriormente adaptado e implementado a mayor escala, de acuerdo con las normas y condiciones de los espacios habitacionales, como apartamentos. Esta propuesta considera las características específicas que debe cumplir un cultivo hidropónico supervisado, asegurando que el diseño sea compatible con el entorno donde se pretende instalar y con el tipo de monitoreo requerido.

El cultivo de prueba fue implementado en una pared interna del área del balcón techado de un apartamento, un espacio que permite el desarrollo convencional de las plántulas gracias a su acceso a suministro de agua, energía eléctrica y luz natural durante algunas horas del día.

Siguiendo los principios de las huertas urbanas —las cuales están diseñadas para funcionar en espacios reducidos, con poco sustrato y de forma rentable— se desarrolló un cultivo hidropónico a escala utilizando cuatro plántulas de cilantro. La configuración incluyó un motor sumergible en agua, similar a los utilizados en Notas o acuarios, que permite la circulación constante del agua con nutrientes disueltos.

Se instalaron sensores en los tubos, ubicados en las posiciones correspondientes a cada planta, con el fin de registrar los niveles de humedad y temperatura en la zona donde se encuentran las raíces. Adicionalmente, se incorporó un sensor especializado para medir la temperatura del agua cercana a las raíces, ya que esta variable influye directamente en la absorción de nutrientes y, por lo tanto, en el desarrollo de la plántula.

A modo de referencia, se incluyó también la imagen de un sistema de cultivo hidropónico doméstico disponible comercialmente, diseñado para ser ensamblado por el usuario en casa. Este sistema cuenta con iluminación UV natural para favorecer el crecimiento de las plantas.

Figura 2

Sistema de Cultivo Vertical para el hogar



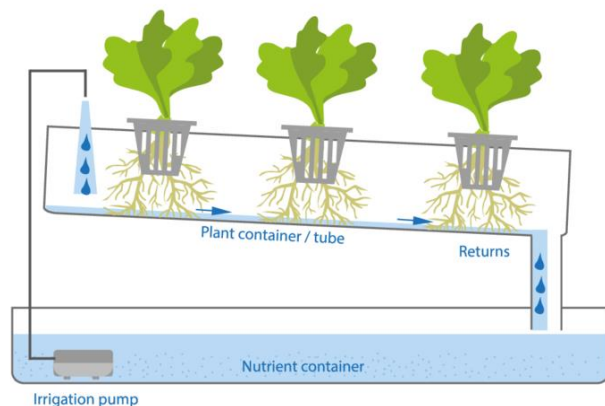
Nota. La imagen presentada corresponde a un esquema del sistema que se propone implementar para el monitoreo de variables ambientales en el cultivo. Elaborado por Supragarden (Plant Steps LTD, s.f.)

Este diseño ilustra cómo se llevará a cabo la supervisión de la temperatura y la humedad tanto dentro del tubo como en el ambiente exterior, permitiendo la comparación entre ambas mediciones y el análisis de los datos adquiridos por los sensores.

La información registrada es transmitida mediante una Raspberry Pi o, alternativamente, a través de un sistema embebido libre basado en microcontroladores como Arduino, que actúa como unidad de procesamiento para el control y la supervisión del sistema.

Figura 3

Imagen de Referencia Sobre el Funcionamiento del Sistema



Nota. Imagen del funcionamiento interno del Sistema NFT en cultivo hidropónico de hoja con sus componentes. Elaborado por: CicloCultivo.ar (CicloCultivo.ar, 2025).

Diseño de la Plataforma Tecnológica

El proyecto contempla un proceso compuesto por varias etapas interconectadas y secuenciadas, cuyo propósito fundamental es garantizar el cumplimiento de su función principal: la recolección, análisis, transmisión y visualización de los datos relacionados con la humedad y la temperatura del cultivo.

En el siguiente esquema se presenta la secuencia de etapas diseñada para alcanzar este objetivo, permitiendo la supervisión eficiente y en tiempo real de las variables ambientales clave que influyen en el desarrollo del sistema hidropónico.

Figura 4

Esquema de Etapas de Diseño



Nota. Esquema informativo creado en Canva de las etapas del diseño. Elaboración Propia,2026.

Solución Implementada

Cultivo NFT

De acuerdo al análisis del estado del arte, en proyectos de la misma línea investigativa, y a la revisión de la bibliografía realizada para el desarrollo del diseño del proyecto, se seleccionó el tipo de cultivo Hidropónico conocido como NFT, dado que sus características son compatibles con los criterios del diseño electrónico, los recursos, la metodología más eficaz y adecuada para el cultivo seleccionado.

Diseño Electrónico

Tras el análisis detallado de los componentes electrónicos y del sistema a utilizar en el prototipo, se tomaron decisiones clave para su correcta implementación. A continuación, se describen los principales elementos seleccionados, junto con las razones de su elección y la forma en que fueron integrados en el prototipo para garantizar su funcionamiento óptimo.

Las fichas técnicas de cada componente se incluyen en el apartado de Anexos, con el propósito de proporcionar información adicional sobre sus características, funciones específicas y el enfoque adoptado en su aplicación dentro del sistema.

Sensores Seleccionados

Para la adquisición de datos, se seleccionaron e implementaron los siguientes sensores, los cuales permiten medir de forma precisa las variables ambientales necesarias para el monitoreo del cultivo.

El sensor DHT11 es un sensor ampliamente utilizado para la medición de temperatura y humedad relativa en distintos tipos de aplicaciones electrónicas. Se destaca por ofrecer una señal digital calibrada de fábrica, lo cual garantiza una alta precisión y confiabilidad en el tiempo. Esta estabilidad se debe, en parte, a su conversor analógico-digital de 16 bits integrado y a la presencia de dos sensores resistivos: un termistor NTC para la medición de temperatura y otro sensor para la humedad.

Este sensor proporciona una respuesta rápida y confiable, siendo capaz de medir la humedad relativa en un rango aproximado de 20 % a 95 %, y la temperatura entre 0 °C y 50 °C. Cada unidad es calibrada de forma individual en laboratorio, y los coeficientes de calibración se almacenan en una memoria OTP (*One-Time Programmable*), que se utiliza durante el proceso de conversión de señal para garantizar la exactitud de las mediciones.

El **DS18B20** es un sensor digital de **temperatura** ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren mediciones precisas y confiables, incluso en condiciones ambientales adversas ofrece lecturas de temperatura con una resolución configurable de 9 a 12 bits, y cuenta con un tiempo de respuesta menor a 750 milisegundos. Su rango de medición va desde $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precisión de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estas características lo hacen especialmente útil en sistemas de control de temperatura para HVAC, monitoreo ambiental en edificaciones, seguimiento de condiciones térmicas en maquinaria y procesos industriales, entre otras aplicaciones.

Procesamiento y Transmisión de Datos

La placa de desarrollo ESP32 DEVKIT V1, también conocida como NodeMCU-32, es una herramienta altamente eficiente para el prototipado rápido de proyectos de Internet de las Cosas (IoT). La ESP32 DEVKIT V1 es una plataforma para desarrolladores y estudiantes que buscan implementar soluciones conectadas en el ámbito de la automatización, monitoreo ambiental, domótica, entre otros, teniendo en cuenta la facilidad de programación basada en Arduino, bajo costo y accesibilidad. La placa posee las siguientes características:

Conectividad Wi-Fi y Bluetooth

Incorpora conectividad Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2 (incluyendo BLE), lo que la hace ideal para proyectos de IoT que requieren comunicación inalámbrica.

Procesador de doble núcleo

Cuenta con un procesador Xtensa® 32-bit LX6 de doble núcleo, que permite ejecutar múltiples tareas en paralelo, mejorando el rendimiento general del sistema.

Gran número de Pines de Entrada/Salida (GPIO)

Dispone de hasta 34 pines GPIO configurables, que pueden ser utilizados para entradas analógicas, salidas digitales, PWM, SPI, I2C, UART, entre otros.

Compatibilidad con el Entorno de Arduino

Es compatible con el IDE de Arduino, lo que facilita su programación y uso, especialmente para estudiantes y desarrolladores que ya están familiarizados con esta plataforma.

Bajo consumo energético:

Posee modos de ahorro de energía (deep sleep y light sleep), lo que permite su uso en aplicaciones alimentadas por batería, optimizando la eficiencia energética del sistema.

Refrigeración y Alimentación de las Plántulas

Se utilizó una bomba de agua modelo **SP-800**, la cual posee una altura máxima de impulsión de 80 cm y cuenta con un regulador manual de caudal, permitiendo ajustar el flujo según las necesidades del sistema. Esta bomba impulsa el agua a través de una manguera conectada en la parte superior del sistema NFT, cuya disposición en zigzag facilita el recorrido del líquido a lo largo de todo el cultivo. Gracias a la acción de la gravedad, el agua fluye nuevamente hacia el tanque principal de 5 litros, donde se encuentran disueltos los nutrientes necesarios para el crecimiento y maduración de las plántulas de cilantro, completando así un ciclo cerrado de riego eficiente.

Diseño del Cultivo NFT

Se tomó en cuenta distintas modalidades de cultivo NFT para el prototipo, teniendo en cuenta el espacio disponible para el prototipo, la cantidad y tipo de plántulas de prueba y el tanque de alimentación del cultivo hidropónico en sí, aprovechando la gravedad para la recirculación de los nutrientes, con el fin de no cargar la bomba de una doble función de recirculación y simplificando el sistema.

Los cultivos NFT (Nutrient film Technique) son cultivos hidropónicos especializados para la producción de hortalizas de hoja, planta aromáticas y plantas de frutos pequeños como los jalapeños, teniendo en cuenta que la solución se implementó en un ambiente urbano con espacio reducido, se determinó que una versión vertical de esta modalidad sería la más indicada por las ventajas que tiene este diseño contra versiones horizontales que ocupan más espacio y no generar fluctuaciones de temperatura tan variadas como en un sistema vertical.

Explicación Detallada del Funcionamiento de la Solución Implementada

La solución desarrollada consiste en un sistema de cultivo hidropónico tipo NFT (Nutrient Film Technique) automatizado, que permite la circulación constante de una solución nutritiva a través de un circuito cerrado. El funcionamiento inicia con la activación del sistema de bombeo, el cual impulsa el agua enriquecida con nutrientes desde un tanque de almacenamiento ubicado en la parte inferior, hacia la parte superior del sistema.

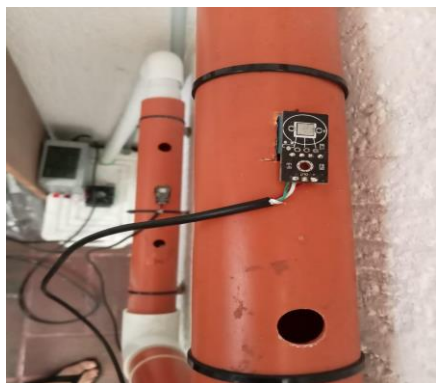
Desde allí, la solución fluye por gravedad a lo largo de una estructura en zigzag conformada por tubos de PVC, permitiendo que una fina capa de agua entre en contacto directo con las raíces de las plántulas alojadas en rejillas distribuidas a lo largo del conducto. Este flujo continuo proporciona a las raíces los nutrientes y el oxígeno necesarios para su desarrollo, sin necesidad de sustrato sólido.

Paralelamente, el sistema incluye un módulo de monitoreo ambiental que recolecta datos clave sobre las condiciones internas del cultivo, como temperatura y humedad. Estos datos son procesados localmente y enviados en tiempo real a una plataforma en la nube, desde donde pueden ser visualizados mediante una interfaz accesible para el usuario final. Este monitoreo remoto facilita la supervisión constante del cultivo y permite la activación de alertas o acciones automáticas si se detectan condiciones fuera de los rangos establecidos.

Una vez completado el recorrido, el agua retorna nuevamente al tanque de origen, cerrando el ciclo de riego. Este proceso no solo garantiza una distribución uniforme de los nutrientes, sino que también permite un uso eficiente del agua, facilitando el mantenimiento de condiciones óptimas para el crecimiento del cultivo en espacios reducidos.

Figura 5

Sensor DHT11 Instalado en el Prototipo



Nota. Sensor DHT11 y perforación para plántula en tubo de PVC para sistema NFT de cultivo. Elaboración Propia,2026.

Se decidió utilizar plantas con un tallo más desarrollado que permitiera su adecuado ajuste al tubo. Considerando que los valores de humedad y temperatura en las raíces afectan el rendimiento de las plantas, se incorporó un sensor encargado de medir la temperatura dentro del tubo. Durante las pruebas iniciales del prototipo, se identificó la necesidad de incluir un sensor para monitorear la temperatura del medio de transporte de los nutrientes, es decir, el agua. Por esta razón, se instaló en la parte superior del prototipo el sensor **DS18B20**, destinado a medir con precisión la temperatura del agua que alimenta a las plántulas.

Figura 6*Sensor DS18B20 para Temperatura Específica del Agua*

Nota. Foto del sensor de temperatura para el agua instalado en el prototipo y con contacto al agua que fluye dentro de tubo. Elaboración Propia, 2026.

Dentro del tubo no solo se encuentran las plantas con las raíces expuestas al aire, sino que también está instalada una manguera que suministra agua desde el tanque superior hacia las raíces. El flujo del agua se logra mediante una bomba para Notas o peceras disponible en el mercado, que impulsa el agua para llenar el tubo. A través de una serie de tapones colocados en la manguera, se controla el nivel de elevación del agua dentro del tubo y se permite el retorno del agua al tanque principal. Este diseño garantiza que el flujo de agua se mantenga constante y activo, asegurando así un suministro continuo para las plantas.

Figura 7

Prototipo para Interiores de Forma Vertical a Escala del Proyecto

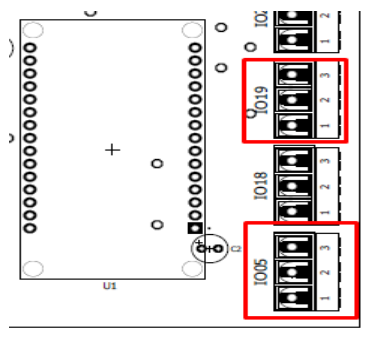


Nota. Foto del prototipo en pruebas adaptado a un espacio cerrado semi interior de un apartamento. Elaboración Propia, 2026.

Los sensores se conectan a los pines definidos en la ESP32, a través del prototipo de circuitos electrónicos diseñado para la conexión de los sensores de forma modular.

Figura 8

Esquemático parcial de Tarjeta Diseñada para La ESP32, y Conexión de Sensores



Nota. Esquemático de la tarjeta diseñada para la ESP32, especificando los dos puestos que se usaron para la conexión de los sensores DHT11. Elaboración Propia,2026.

A través de la ESP32 se envían los datos recopilados por los sensores a través de la red de WiFi configurada en la programación en Arduino. Estos datos se envían en intervalos de tiempo establecidos en tiempo real a la plataforma de ThingSpeak, donde se implementan algoritmos de inteligencia artificial predictiva, para esto se configura y entrena a través del aplicativo de Matlab embebido con la herramienta Thingspeak, con los datos en tiempo real y como resultado entrega la predicción de temperatura en un canal, que posteriormente sería recuperado directamente desde el aplicativo desarrollado a través de MIT APP inventor para su visualización por parte del usuario final.

Diseño del Prototipo de Circuito Electrónico

Se diseñó una tarjeta actuadora destinada al encendido y apagado automático de la bomba de circulación del sistema hidropónico. Esta tarjeta se comunica con un módulo Wi-Fi, permitiendo su integración al entorno de monitoreo y control remoto del prototipo.

El circuito incluye un **módulo relé** que actúa como interruptor electrónico, encargado de activar o desactivar la bomba según las órdenes enviadas desde la unidad de procesamiento. Esta configuración garantiza un funcionamiento seguro y eficiente, permitiendo automatizar el riego en función de los datos recolectados por el sistema de sensores y las condiciones preestablecidas para el cultivo.

Registro de Datos, Alarmas e Indicadores

En general, las investigaciones relacionadas con la IA en el ámbito de la agricultura se han popularizado en años recientes. Para que ello sea posible, ha sido necesario recurrir a técnicas como el aprendizaje automático (ML, Machine Learning) y el Aprendizaje profundo (DL, Deep Learning). El ML es capaz de producir un comportamiento utilizando algoritmos que a su vez son alimentados por una gran cantidad de datos. Por su parte, el DL es un subconjunto de ML que se utiliza para comprender conceptos de mayor precisión.

¿Cómo entrenar un algoritmo capaz de predecir la temperatura en un cultivo hidropónico en tiempo real?

Para responder este interrogante usaremos algunas técnicas y algoritmos de inteligencia artificial y así seleccionar el más apropiado que logre predecir usando los datos generados en tiempo real de manera más precisa.

Materiales y Métodos

Se probaron dos tipos de inteligencia artificial con ello se buscó una comparativa entre los resultados obtenidos y mejor funcionalidad para la tarea requerida.

Red Neuronal

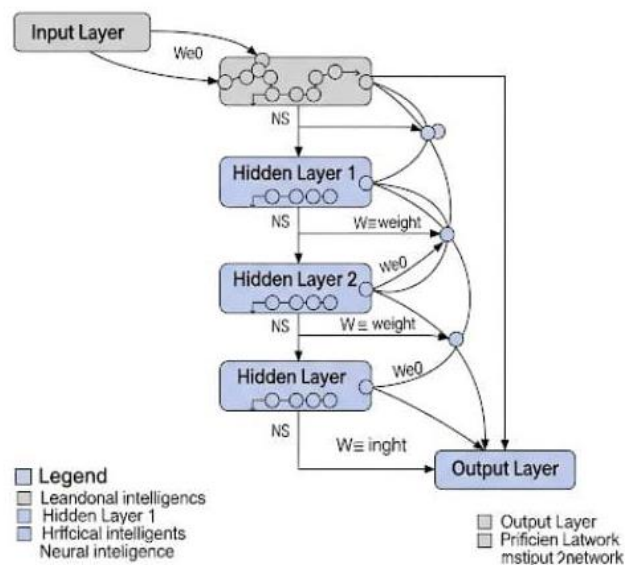
Una red neuronal es un modelo computacional que se inspira en la estructura y el funcionamiento del cerebro humano, formado por varias capas de nodos interconectados, conocidos como neuronas artificiales. Estas redes tienen la capacidad de aprender a partir de conjuntos de datos, permitiéndoles identificar patrones, clasificar información y hacer predicciones con base en la experiencia adquirida.

Durante el entrenamiento, la red procesa las entradas a través de diferentes capas que abstraen y transforman la información. Los pesos de las conexiones entre neuronas se ajustan

automáticamente mediante algoritmos específicos para reducir el error en los resultados y mejorar el rendimiento en tareas como el reconocimiento de voz o imágenes.

Figura 9

Diagrama Red Neuronal



Nota. La figura representa el funcionamiento de una red neuronal con entrada capas y salida.

Elaboración Propia, 2026.

La arquitectura estándar de una red neuronal incluye una capa inicial de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. Cada neurona recibe señales ponderadas de la capa anterior, las procesa y transmite su salida a la siguiente capa. Este enfoque de procesamiento paralelo y estructurado permite que las redes neuronales modelen relaciones complejas y no lineales presentes en los datos.

Para el modelo de prueba se usó una red neuronal artificial (ANN) del tipo Perceptrón Multicapa (MLP, Perceptrón Multicapa) con aprendizaje supervisado con dos capas ocultas de 30 y 15 neuronas con función de activación tansig.

Aprendizaje Supervisado

Se utiliza un conjunto de datos históricos de temperatura como entrada.

La red se entrena con ejemplos donde se conoce la temperatura futura (salida).

Luego, puede predecir valores futuros de temperatura.

Algoritmo de Entrenamiento

Se usa `trainlm`, que implementa Levenberg-Marquardt (optimización numérica rápida).

Es un método basado en descenso de gradiente para minimizar el error.

Se usa 80% de datos para entrenar y 20% para prueba.

Árbol ALEAtorio

El algoritmo de bosque aleatorio, desarrollado por Leo Breiman y Adele Cutler, es una técnica ampliamente utilizada en machine learning debido a su facilidad de uso y flexibilidad para abordar tanto problemas de clasificación como de regresión. Este método se basa en la combinación de múltiples árboles de decisión, cada uno entrenado a partir de una muestra aleatoria con reemplazo del conjunto de datos original, conocida como muestra *bootstrap*.

Aproximadamente un tercio de los datos no se utiliza en cada muestra *bootstrap*, lo que permite emplearlos como conjunto de validación, denominado muestra *out-of-bag* (oob).

Además, el algoritmo introduce aleatoriedad adicional mediante el *feature bagging*, seleccionando aleatoriamente un subconjunto de variables en cada división del árbol, lo cual reduce la correlación entre árboles y mejora la generalización del modelo. La predicción final varía según el tipo de problema: en regresión, se promedia el resultado de todos los árboles; en clasificación, se toma la clase con más votos. Finalmente, la muestra *oob* permite validar el modelo sin necesidad de una partición adicional de los datos, haciendo del bosque aleatorio una herramienta robusta y eficiente.

Para esta prueba se usó un modelo de aprendizaje automático supervisado basado en Random Forest Regressor (Bosque Aleatorio de Regresión) para la predicción de temperatura.

Algoritmo de Aprendizaje

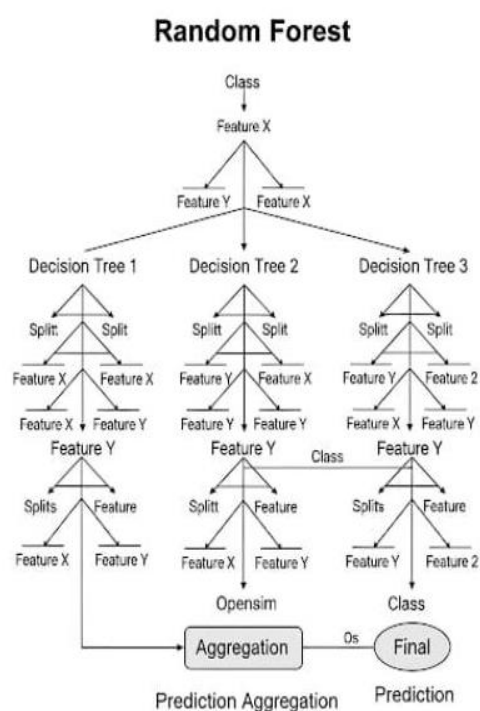
Aprendizaje Supervisado: Se entrena el modelo con datos históricos de temperatura.

División de datos en conjunto de entrenamiento (70%) y prueba (30%).

Número de Árboles: 100 árboles en el bosque aleatorio.

Figura 10

Diagrama de bosque aleatorio



Nota. Elaboración Propia, 2026.

Conjunto de Datos

La recolección de los datos iniciales se realizó teniendo en cuenta distintos cambios de temperatura entre los 20°C y los 38°C temperaturas aptas en cultivos de tipo hidropónico

tomándose de manera continua, para así entrenar los algoritmos y certificar que son capaces de predecir cualquier tipo de cambio en las condiciones para el óptimo desarrollo del cultivo.

Procesamiento de datos

Previo al análisis necesario, se efectuó un preprocesamiento usando los datos descargados de la plataforma Thingspeak, clasificándolos y organizándolos para iniciar a entrenar los algoritmos y realizar pruebas de aprendizaje:

Con esto se construye y evalúan los 2 algoritmos de inteligencia artificial para posteriormente trabajar con ellos dentro de la plataforma Thingspeak usando los datos en tiempo real para probar y verificar su funcionamiento.

Figura 11

Procesamiento de datos



Nota. Elaboración Propia, 2026.

Preparación del Conjunto de Datos

Los datos fueron recolectados desde ThingSpeak y posteriormente organizados en Excel para realizar el entrenamiento, se probaron inicialmente cuatro tipos diferentes de algoritmos: Máquina de vectores de soporte, Aumento de gradiente extremo, Bosque aleatorio y Red Neuronal Profunda.

Finalmente, solo dos fueron seleccionados para ser probados en tiempo real con la plataforma Thingspeak y analizar su comportamiento.

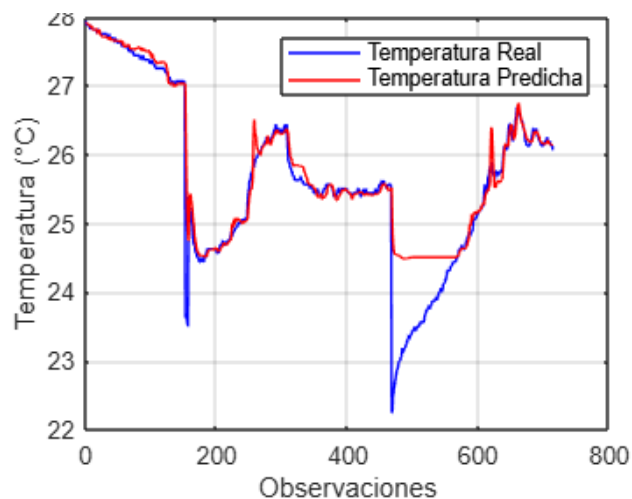
Construcción del Modelo

Árbol Aleatorio

Se validó la disponibilidad de datos y se filtraron según un rango lógico de temperatura ($\text{minTemp} = 10^{\circ}\text{C}$, $\text{maxTemp} = 50^{\circ}\text{C}$) para excluir lecturas anómalas. Se solicitó un número reducido de datos ($\text{numPuntos} = 100$) para evitar sobrecarga o errores de comunicación y Se usó el algoritmo TreeBagger con 100 árboles para entrenar un modelo de regresión robusto frente a ruido y variaciones en los datos.

Figura 12

Grafica Comparativa del Árbol Aleatorio



Nota. Elaboración propia, 2026.

Se observa que el modelo sigue de manera efectiva las variaciones generales de la temperatura a lo largo del tiempo, adaptándose adecuadamente a los cambios bruscos y tendencias.

Aunque existen pequeñas desviaciones en puntos específicos, especialmente durante transiciones abruptas, el modelo mantiene una alta concordancia con los datos reales en la mayor parte del intervalo observado. Esto evidencia una buena capacidad de generalización del modelo frente a los patrones temporales de la temperatura.

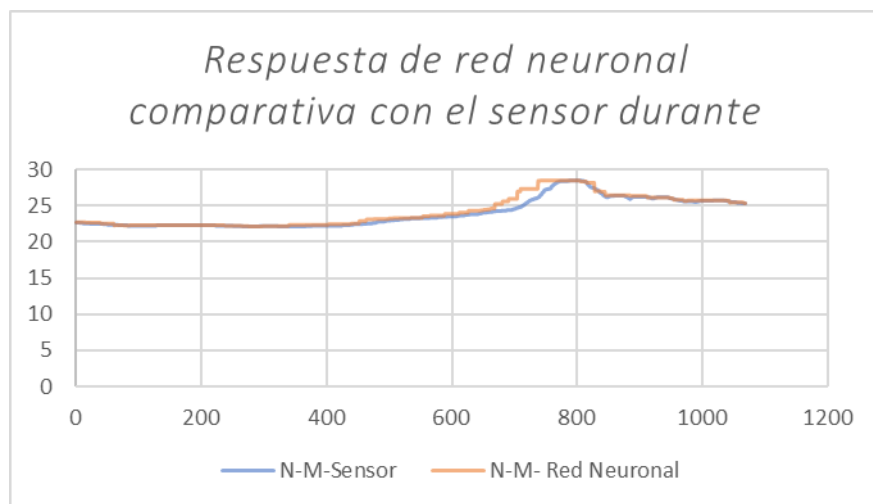
Red Neuronal

Se diseñó y entrenó una red neuronal artificial del tipo feedforward con dos capas ocultas para la predicción de temperatura a corto plazo, utilizando datos históricos provenientes de la plataforma ThingSpeak. La arquitectura seleccionada consistió en una primera capa oculta con 30 neuronas y una segunda con 15 neuronas, ambas utilizando la función de activación tansig (sigmoide hiperbólica). El algoritmo de entrenamiento empleado fue Levenberg-Marquardt (trainlm), seleccionado por su eficiencia en problemas de regresión no lineal.

Los datos de entrada fueron organizados en secuencias temporales mediante una ventana deslizante de 10 muestras, y se normalizaron utilizando el método de Z-score, lo que mejoró la estabilidad y velocidad de convergencia del entrenamiento. El conjunto de datos fue dividido en 80% para entrenamiento y 20% para validación, garantizando así una evaluación adecuada del modelo. El modelo fue entrenado con un máximo de 500 épocas.

Figura 13

Grafica de Respuesta de Red Neuronal Comparativa con el Sensor Durante Toma de Datos Por Un Día



Nota. Elaboración propia, 2026.

Aunque la red neuronal sigue parcialmente la tendencia general de los datos, presenta una alta variabilidad y predicciones dispersas en el tramo final del tiempo analizado. Estas desviaciones indican una pérdida de precisión y generalización, lo que sugiere que el modelo podría ser sensible a cambios abruptos en los datos. La red neuronal no resulta suficientemente confiable para aplicaciones críticas de monitoreo en tiempo real continuo en cultivos hidropónicos.

Es importante aclarar que las pruebas se realizaron utilizando **MATLAB Online**, donde se evidenció que la red neuronal presenta una mayor sensibilidad al momento de leer los datos en tiempo real desde **ThingSpeak**. Esta sensibilidad afectó la estabilidad de sus predicciones ante variaciones en los datos recibidos, lo cual limitó su desempeño en comparación con el algoritmo de árbol aleatorio.

Diseño de la Interfaz gráfica

MIT App Inventor es un entorno de programación visual e intuitivo que permite a todo el mundo (incluso a los niños) crear aplicaciones totalmente funcionales para teléfonos Android, iPhone y tabletas Android/iOS. El proyecto MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) App Inventor busca democratizar el desarrollo de software al empoderar a todas las personas, especialmente a los jóvenes, para que pasen del consumo de tecnología a la creación de tecnología.

En la búsqueda de simpleza y eficiencia a la hora de crear un aplicativo, se tomó en cuenta la utilización de esta herramienta tecnológica para desarrollar un aplicativo base donde se pueda ver la información actual y las predicciones correspondientes al prototipo en tiempo real.

Como pasos iniciales para el desarrollo del aplicativo se creó la respectiva cuenta y proyecto a desarrollar en la plataforma de APP INVENTOR, el cual se le da un nombre y enfoque siguiendo las recomendaciones iniciales de la web app para el desarrollo del aplicativo.

Se definieron las pantallas o también conocidas como “Screen” del aplicativo, teniendo en cuenta la información y la forma en que se va mostrar para el usuario. Se decidió que el aplicativo tendría 5 Screen correspondientes a los 5 botones que se configuran en la Screen principal. Debido a que la similitud de la herramienta con la codificación por pestañas o bloques que se puede realizar desde el desarrollo web con HTML, hace que el proceso de definir y conectar las distintas vistas sea rápido e intuitivo. Recolección de datos, validación del funcionamiento del sistema, activación del riego.

El sistema de riego implementado en el cultivo hidropónico se basa en una bomba de agua activada por un esquema mixto de ciclos programados y condiciones ambientales, con el objetivo de optimizar el suministro de solución nutritiva. La bomba se activa automáticamente en seis ciclos diarios de 15 minutos cada uno, distribuidos a lo largo del día para garantizar una adecuada hidratación de las plantas.

Adicionalmente, el sistema incorpora un mecanismo inteligente de control basado en temperatura. Cuando la inteligencia artificial (IA) predice que la temperatura ambiente supera los 27 °C, la bomba se enciende de forma inmediata, aun cuando no esté programado un ciclo, con el fin de contrarrestar el estrés térmico y mantener condiciones óptimas para el cultivo. En caso de que un ciclo programado coincida con una activación por umbral de temperatura, la bomba permanece activa sin interrupciones durante el tiempo que dure la condición, priorizando la necesidad de riego en condiciones críticas.

Para el monitoreo y registro del funcionamiento, se utiliza la plataforma ThingSpeak, donde se publica el estado de la bomba en tiempo real. A continuación, veremos en la tabla el comportamental del funcionamiento de los ciclos de encendidos y apagados de la bomba entre el 15 y el 24 de julio, según las horas especificadas en programación y la coincidencia de datos de sensor de temperatura en agua.

Tabla 1*Código de Comportamiento*

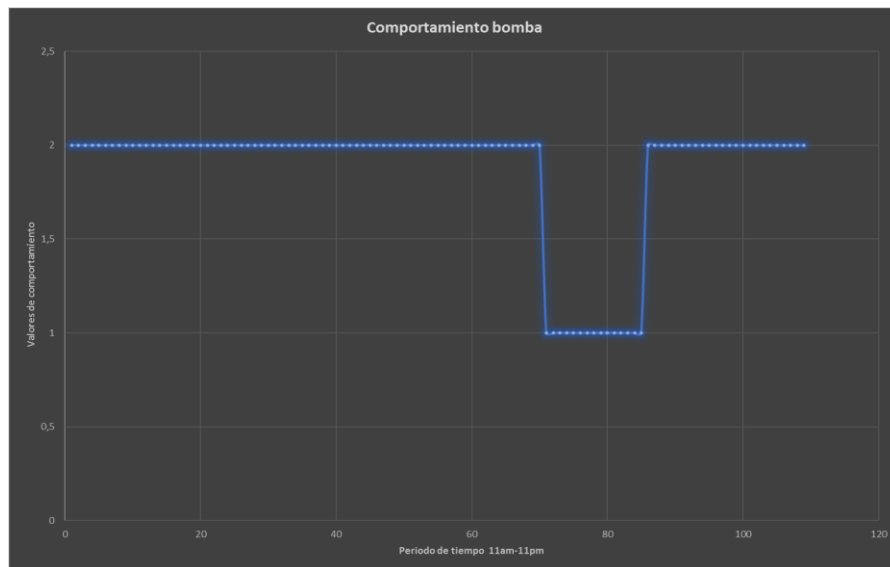
Código Numérico	Significado del Código de comportamiento
0	La bomba está apagada.
1	La bomba está encendida por ciclo programado.
2	La bomba está encendida por activación del umbral de temperatura.
3	El ciclo programado coincide con la activación por temperatura

Nota. Esta tabla demuestra la correspondencia de los códigos/valores numéricos dados en la programación para funcionamiento de los ciclos de encendidos y apagados de la bomba de irrigación de agua en el prototipo con su explicación. Elaboración propia, 2026

Figura 14*Prototipo en Funcionamiento Con Plántulas*

Nota. En la imagen se evidencia la puesta en marcha del prototipo con plántulas de prueba con el fin de valorar su funcionamiento. Dicho registro se encuentra documentado con material videográfico. Elaboración propia.2026.

Primer día de prueba de programación de ciclos realizada el 15/07/2025 en el periodo de 11am-11pm.

Figura 15*Grafica De Comportamiento en Ciclo de Activación de la Bomba*

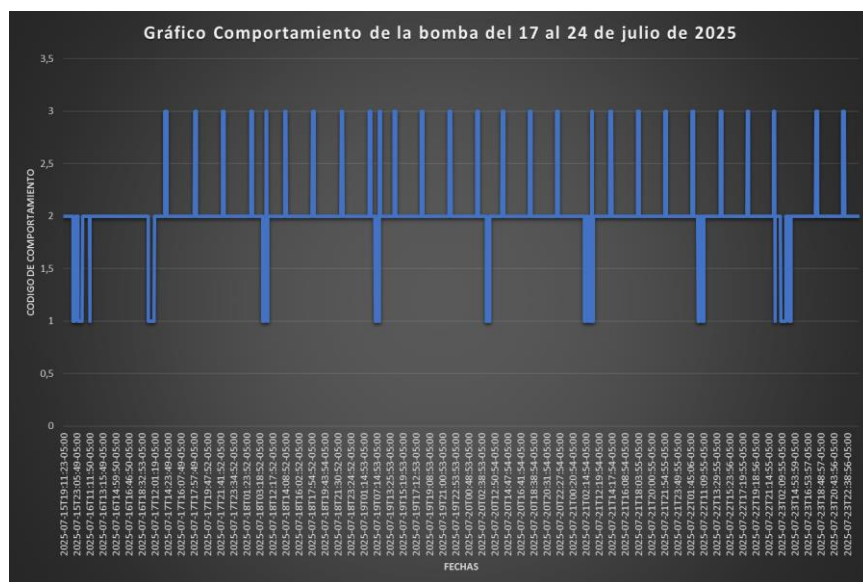
Nota. Representación gráfica del comportamiento de activación de la bomba. Donde se evidencia que la bomba está encendida por activación del umbral de temperatura (Código 2) y cambia a encendido por ciclo programado (Código 1). Elaboración Propia,2026.

Basado en la información arrojada en los sensores y siguiendo el ciclo que se evidencia entre el ciclo programado (1) y el ciclo por temperatura (2) en un periodo de 12 horas.

Comportamiento de la bomba desde el 15 de julio a 24 de julio de 2025.

Figura 16

Comportamientos de Encendido por Temperatura y por Ciclo Programado de la Bomba.



Nota. En la gráfica anterior podemos ver los comportamientos de encendido por temperatura y por ciclo programado de la bomba. Elaboración propia 2026.

Respuesta del sensor de Humedad y Temperatura

La fase de recolección de datos fue fundamental para el entrenamiento y la validación de los modelos de inteligencia artificial desarrollados. Se empleó un sensor que registró muestras de temperatura cada minuto, garantizando una granularidad temporal adecuada para capturar la dinámica ambiental.

La toma de datos se llevó a cabo en condiciones controladas, simulando entornos relevantes para cultivos hidropónicos. Específicamente, se monitoreo y registraron variaciones de temperatura dentro del rango de 20°C a 38°C, considerando que estas son las temperaturas óptimas para el desarrollo de la mayoría de los cultivos de este tipo. La recolección continua en este rango crítico tuvo como objetivo primordial generar un conjunto de datos robusto y

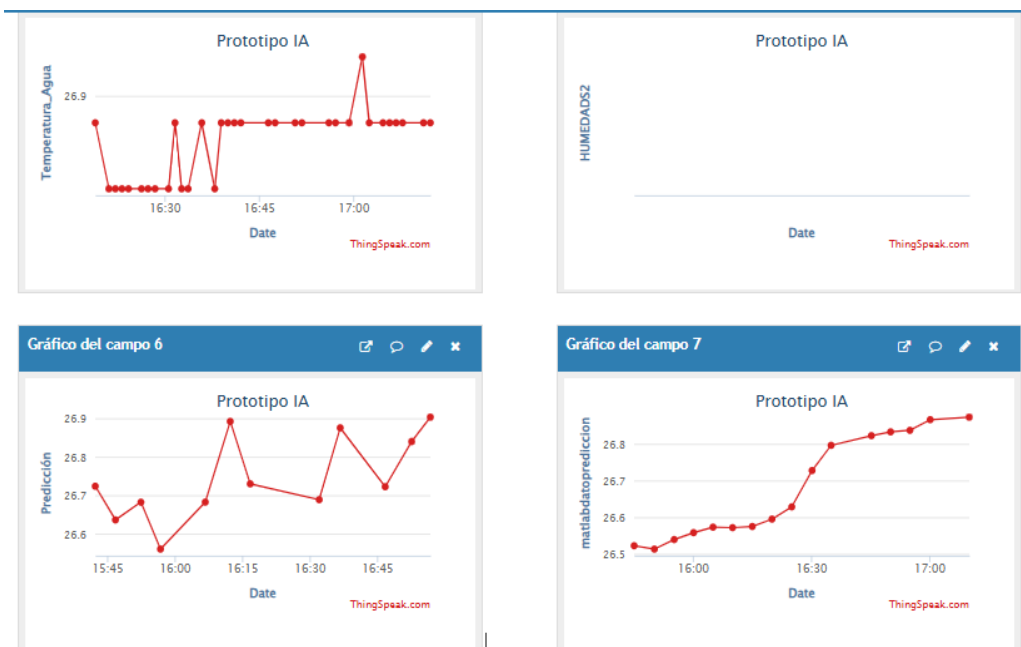
representativo, lo que permitiría entrenar los algoritmos de inteligencia artificial para predecir con precisión cualquier cambio en las condiciones ambientales que pudiera afectar el óptimo desarrollo del cultivo.

El procesamiento de datos se inició una vez completada la descarga de la información desde la plataforma Thingspeak. Esta etapa fue crucial para preparar los datos brutos para el entrenamiento. El pre procesamiento consistió en la clasificación y organización sistemática de los datos recolectados, que fue esencial esta organización para estructurar el conjunto de datos de manera que fuera directamente utilizable por los algoritmos de aprendizaje automático, facilitando así las fases subsiguientes de entrenamiento y las pruebas de aprendizaje de los modelos predictivos.

Resultados

Figura 17

Grafica de Valores Arrojadados a Través De Thingspeak de las Perdiciones y el Sensor de Temperatura En Agua.

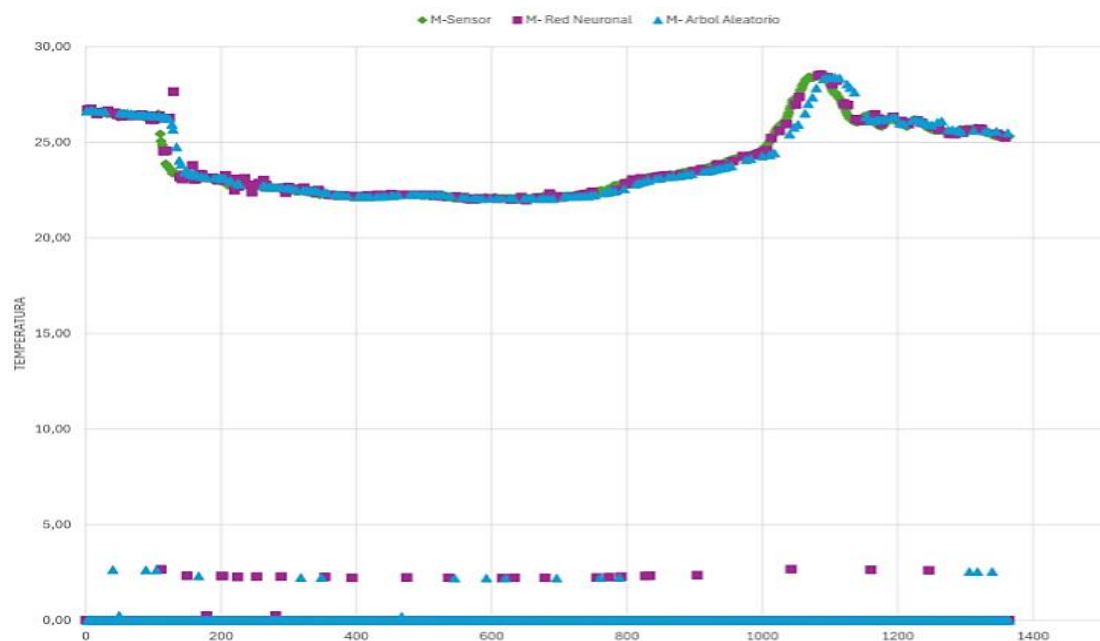


Nota. La gráfica muestra la evolución de la temperatura medida por el sensor (línea roja), junto con las predicciones generadas por dos modelos de aprendizaje automático. Elaboración propia, 2026.

Donde se comparan los datos de temperatura generadas por la red neuronal y el modelo de árbol aleatorio; Aunque ambos modelos siguen la tendencia general, el árbol aleatorio demuestra un comportamiento más estable y preciso, con menos predicciones erráticas o fuera de rango y la red neuronal requiere un escenario más controlado y ajustes para ser confiable. Elaboración propia, 2026.

Figura 18

Grafica Comparativa Entre Mediciones y Predicciones Realizadas Sin Procesamiento de Datos.



Nota. Elaboración propia, 2026.

Así mismo, validando los datos obtenidos se evidencia una serie de datos dispersos o en cero correspondiente a que no se evidencio un cambio en la temperatura, pues se sostiene el mismo valor, es decir que es necesario un post -procesamiento, por lo tanto, se hizo un ajuste en los datos recolectados teniendo en cuenta que los ceros se traducen como que se sostiene el valor anterior. Correspondiente al análisis de las predicciones de la gráfica anterior, se compara con las predicciones correspondientes a la red neuronal y el árbol aleatorio, son Outlayers por conectividad, análisis y transmisión de datos de:

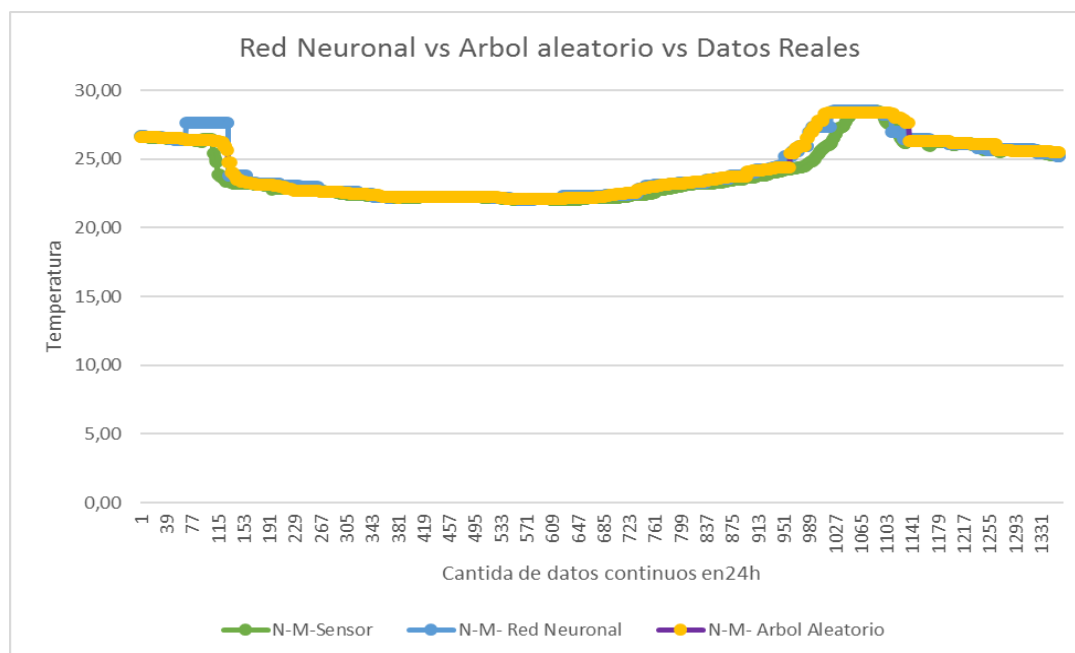
árbol aleatorio: 17 y red neuronal: 24.

$$\text{Outlayer totales: } \frac{41}{1360} = 0.0301 * 100 = 3.01\%$$

Basado en lo anterior, se procesan los datos y se grafica nuevamente el comportamiento predictivo de las IA (Red neuronal y Árbol Aleatorio) comparándose con los valores obtenidos por los sensores.

Figura 19

Comparativa entre datos reales y algoritmo IA con datos procesados



Nota. Elaboración propia, 2026.

Basados en los datos procesados, se valida el error cuadrático medio, el cual es la suma de las diferencias al cuadrado entre los valores predichos y observados, dividida entre el número de observaciones. Se obtiene la raíz cuadrada de este valor, lo que da como resultado el ECM.

$$\text{Error Cuadrático Medio ECM árbol aleatorio} = 0,351965326 = 35\%$$

$$\text{Error Cuadrático Medio ECM Red neuronal} = 0,000351881 = 4\%$$

Se Saca el coeficiente de correlación correspondiente a ambas IA contra los datos obtenidos:

Coeficiente de correlacion Arbol aleatorio: 0,967778079 = 97%

Coeficiente de correlacion Red Neuronal: 0,967778079 = 96%

De acuerdo con lo anterior, podemos decir que el árbol aleatorio es un 97% de coincidencia con los valores obtenidos por el sensor. En el caso de la Red Neuronal, la coincidencia es de un 96%, lo cual podemos evidenciar de manera gráfica en la figura 17 correspondiente a los datos post procesados.

A partir del análisis gráfico se observa una alta correspondencia entre las mediciones reales del sensor y las predicciones generadas tanto por la red neuronal como por el algoritmo de árbol aleatorio. Ambas técnicas de inteligencia artificial lograron seguir con precisión la tendencia general del comportamiento de la temperatura a lo largo del tiempo.

Conclusiones

La incorporación de algoritmos de inteligencia artificial en sistemas hidropónicos verticales demostró ser una herramienta eficaz para mejorar la autonomía y eficiencia del cultivo en entornos urbanos. En este proyecto, se evaluaron dos enfoques de predicción basados en IA: redes neuronales y árboles aleatorios.

A través de pruebas realizadas en MATLAB Online con datos en tiempo real obtenidos desde la plataforma ThingSpeak, se evidenció que el algoritmo de árbol aleatorio ofreció un desempeño más estable y confiable. Este modelo fue capaz de anticipar con mayor precisión el comportamiento de las variables monitoreadas, incluso ante cambios súbitos en los datos.

Por otro lado, la red neuronal presentó una sensibilidad elevada frente a pequeñas fluctuaciones, lo que provocó interrupciones en la predicción durante el flujo de datos en tiempo real. En consecuencia, se concluye que el árbol aleatorio es la opción más adecuada para este tipo de aplicación, al ofrecer mayor tolerancia al ruido, menor necesidad de ajuste constante y una respuesta más coherente en entornos dinámicos.

Esta implementación valida el potencial de la inteligencia artificial como componente clave para el desarrollo de sistemas agrícolas automatizados, sostenibles y adaptables, alineados con los retos actuales de la agricultura urbana.

La implementación de una plataforma IoT basada en el microcontrolador ESP32 permitió integrar y automatizar de forma eficiente el monitoreo y control del sistema hidropónico vertical. En esta configuración se utilizaron sensores DHT11 para la lectura de temperatura y humedad relativa del entorno, junto con un sensor digital DS18B20 dedicado exclusivamente a la medición de la temperatura del agua.

Durante las pruebas, se comprobó que el sensor DS18B20 ofreció una mayor precisión y estabilidad en la lectura de temperatura frente al DHT11, especialmente en condiciones de variación térmica. Esta diferencia fue determinante para el control más fino del sistema de riego, donde los datos provenientes del DS18B20 se utilizaron como referencia principal para la toma de decisiones.

La bomba encargada de irrigar el cultivo fue programada para activarse automáticamente en seis ciclos diarios como rutina de mantenimiento hídrico. Sin embargo, el sistema también contempla una lógica adicional: si la temperatura del agua supera el umbral de 27 °C, la bomba se activa de manera inmediata con el fin de mantener un ambiente térmico adecuado para las raíces, evitando el estrés hídrico por calor.

En conjunto, la plataforma IoT implementada demostró ser una solución funcional, económica y adaptable para entornos domésticos, y sienta una base sólida para la evolución hacia sistemas agrícolas inteligentes más complejos y escalables.

A través del proceso de diseño, desarrollo y prueba del aplicativo para la visualización de los datos obtenidos a través de los sensores y las predicciones de la inteligencia artificial, podemos concluir la flexibilidad y adaptabilidad de la herramienta App Inventor de MIT como una solución rápida y adaptable para la creación de una aplicación como interfaz gráfica amigable para los datos y predicciones del prototipo sin perder la simplicidad necesaria para todo tipo de usuario. En sí, la creación del aplicativo como una solución amigable y sencilla de ejecutar para obtener información del prototipo en cualquier dispositivo Android desde que se provea con internet dicho equipo, la red de Thingspeak se encuentre en línea y el prototipo de encuentre en funcionamiento.

Recomendaciones

En futuros desarrollos, la incorporación de un sistema de respaldo energético que permita mantener operativas las funciones críticas del sistema hidropónico (como el monitoreo de variables, el control de la bomba y la conectividad IoT) ante posibles cortes del suministro eléctrico. Esto garantizaría la continuidad del riego y la estabilidad de las condiciones ambientales necesarias para el correcto desarrollo del cultivo.

Durante el desarrollo del sistema se identificó que el modelo basado en red neuronal presentó fluctuaciones en las predicciones y retrasos en la respuesta al trabajar con datos en tiempo real provenientes de ThingSpeak. Esta situación podría deberse a la alta dependencia de grandes volúmenes de datos para su correcto funcionamiento. Se recomienda explorar modelos más ligeros o técnicas de optimización de redes neuronales que permitan reducir el tiempo de respuesta y mejorar la estabilidad en entornos IoT con flujo continuo de datos.

Respecto al prototipo físico, se recomienda lavados periódicos de sedimentos en la parte inferior del tanque además de mejorar la estructura del cultivo NFT para la ampliación o cambio de cultivo específico.

Por parte del Desarrollo del aplicativo, al ser programada a través de la herramienta educativa del instituto tecnológico de Massachussets, nos da un recurso rápido e intuitivo para tener una visualización constante en la palma de la mano, pero a su vez la interfaz tiene tendencia a ser más lenta a la respuesta esperada por el usuario y más limitada a la hora de realizar mejoras. Se recomienda migrar la aplicación a un editor distinto y realizar mejoras como programación a distancia de la red wifi del prototipo a través del aplicativo e integrar sistemas de seguridad del prototipo como logueo de usuario, información individualizada del cultivo y opciones manuales

de encendido y apagado de la bomba de alimentación entre los ciclos predeterminados en programación y en la percepción de la AI basada en el sensor de temperatura de agua.

Referencias

adama.com. (s.f.). *Agua: Un reto de gestión en la agricultura*. Sostenibilidad - ADAMA.com.

<https://www.adama.com/colombia/es/sostenibilidad/agua-un-reto-de-gestion-en-la-agricultura>

agriculture.basf.com. (29 de 10 de 2024). *Sistemas de riego: uso del agua en la agricultura*.

BASF Colombia. Uso del agua y productividad - BASF Colombia. .

<https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/sistemas-de-riego-uso-del-agua-en-la-agricultura>

Anthura y Bureau IMAC. (02 de 06 de 2016). *La importancia de la humedad en el crecimiento de las plantas*. Anthura. [https://anthura.nl/es/optimizacion-de-cultivos/anturio-para-](https://anthura.nl/es/optimizacion-de-cultivos/anturio-para-maceta/la-importancia-de-la-humedad-en-el-crecimiento-de-las-plantas/)

[maceta/la-importancia-de-la-humedad-en-el-crecimiento-de-las-plantas/](https://anthura.nl/es/optimizacion-de-cultivos/anturio-para-maceta/la-importancia-de-la-humedad-en-el-crecimiento-de-las-plantas/)

Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía - Libro de Catedra*. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES - Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Buonanno Seves, M. (27 de 09 de 2018). *La increíble historia de la hidroponía: desde los babilonios hasta la segunda guerra mundial*. innaturale.com.

<https://www.innaturale.com/es-es/la-increible-historia-de-la-hidroponia-desde-los-babilonios-hasta-la-segunda-guerra-mundial>

Centeno, J. C. (01 de 02 de 2004). *Población y medio ambiente*. ecologiasocial.com.

<https://ecologiasocial.com/2004/02/poblacion-y-medio-ambiente/>

- Chaparro Mesa, J. E. (2021). *Módulo Terminal Remoto, para la adquisición de datos, monitoreo y control de procesos Agroindustriales - AgriculTIC*. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 29(2), 245-264. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000200245>
- CicloCultivo.ar. (2025). *El Mejor Sistema Hidropónico: DWC vs NFT vs Aeroponía [Comparativa]*. CicloCultivo.ar. <https://ciclocultivo.com.ar/informes-tecnicos/comparativa-de-sistemas-hidroponicos-para-el-cultivo-de-marihuana-dwc-nft-y-aeroponia/>
- Costa, E., Battistuzzi Martins, M., Pradi Vendruscolo, E., Gomes da Silva, A., Zoz, T., Ferreira da Silva Binotti, F., Witt, T. W., & de Castro Seron, C. (2020). *Greenhouses within the Agricultura 4.0 interface*. Revista Ciência Agronômica, v. 51, Special Agriculture 4.0. <https://www.scielo.br/j/rca/a/XXyFZkRHY83rSpqzsqFttJp/?format=pdf&lang=en>
- DANE. (15 de 05 de 2025). *Comunicado de prensa PIB primer trimestre*. DANE. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/PIB/cp-PIB-Itrim2025.pdf>
- DataQu Future Time Data Analytics. (2 de 10 de 2024). *Entendiendo Random Forest: Una guía completa*. DataQu Future Time Data Analytics. <https://dataqu.ai/entendiendo-random-forest-una-guia-completa/>
- Delgadillo, S., Casarin, L., & Jimenez, M. (s.f.). *Sistema de Riego Arduino*. Seminario: Introducción a la Programación de Microcontroladores con Tecnologías Libres. <https://interorganic.com.ar/josx/MicrocontroladoresPlantDuinoArduino.pdf>
- Editorial Informativo Agrícola de México. (17 de 01 de 2018). *Sistemas de control de riego*. infoagro.com. <https://mexico.infoagro.com/sistemas-de-control-de-riego/>
- EOS Data Analytics, Inc. (02 de 02 de 2024). *Humedad Del Suelo: Cómo Medir Y Controlar Su Nivel*. EOS Data Analytics - Blog: Suelo. <https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/>

Escobar Posada, J. F., Betancur Montoya, P., & Echeverri Agudelo, E. (05 de 2021). *Radiografía Trimestral del Sector*. Grupo Bancolombia - Dirección de Investigaciones Económicas, Sectoriales y de Mercados.

<https://www.grupobancolombia.com/wps/wcm/connect/687e0157-a439-4d35-a4ec-75097fb8da66/radiografia-trimestral-del-sector-agropecuario-2T21.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nDnrJwF>

FAO. (16 de 02 de 2001). *El Problema de Abastecimiento Alimentario*. Proyecto de Capacitación en planificación, programación, proyectos agrícolas y Desarrollo rural.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/34814/S8100816_es.pdf

FAO. (2025). *La inteligencia artificial puede ofrecer a los agricultores una solución que marque la diferencia: Jefe de la Oficina para la Innovación de la FAO*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO.

<https://www.fao.org/newsroom/detail/ai-can-be-a-game-changing-solution-for-farmers--fao-innovation-chief/es>

ferrovial.com. (2025). *¿Que es un sistema de paneles solares?* recursos - ferrovial.com.

<https://www.ferrovial.com/es/recursos/sistema-de-paneles-solares/>

Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola . (2025). Fondo Internacional de Desarrollo

Agrícola . <https://www.ifad.org/es/>

IBM. (s.f.). *¿Qué es la automatización?* IBM - Topics. <https://www.ibm.com/es->

[es/topics/automation](https://www.ibm.com/es-es/topics/automation)

INTAGRI - plataforma de capacitación Agrícola. (2024). *La hidroponía: cultivos sin suelo*.

INTAGRI - plataforma de capacitación Agrícola.

<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>

intagri.com. (s.f.). *El riego, la Importancia de su Programación y los Parámetros de Humedad en el Suelo*. intagri.com. [https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-](https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo)

[importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo](https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo)

Jiménez López, A. F., Camargo Pico, D. A., & García Ramírez, D. Y. (09 de 2020). *Sistema inteligente para el manejo de malezas en el cultivo de piña con conceptos de agricultura de precision*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Ciencia y Agricultura, vol. 17, núm. 3.

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/5600/560064435011/560064435011.pdf>

Mactronica - Electronica y Tecnologia. (2025). *Sonda sensor de temperatura ds18b20*.

Mactronica - Electronica y Tecnologia. <https://www.mactronica.com.co/sonda-sensor-de-temperatura-ds18b20>

Milord, V. (08 de 10 de 2025). *Grabacion de funcionamiento Prototipo de Hidopònia*.

<https://drive.google.com/file/d/1umN7rKP1ixwovZPY4y1XhodTaQWHtTaK/view?usp=sharing>

MR. Pez. (2025). *Bomba de Agua Sumergible SP-800 (Resun)*. Mr. Pez - mascotas acuáticas.

<https://www.mrpez.com.co/producto/bomba-de-agua-sp-800-resun/>

Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Blog - Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20*.

Naylamp Mechatronics SAC . https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html

Naylamp Mechatronics SAC. (2023). *ESP32 DEVKIT V1 - NODEMCU-32 30-PIN ESP32 WIFI USB-C*. Naylamp Mechatronics SAC.

Naylamp Mechatronics SAC. (2023). *SENSOR DE TEMPERATURA DIGITAL DS18B20*.

Naylamp Mechatronics SAC. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/16-sensor-de-temperatura-digital-ds18b20.html>

Naylamp Mechatronics SAC. (2023). *SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA*

DHT11. Naylamp Mechatronics SAC. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>

Naylamp Mechatronics SAC. (2023). *SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA*

DHT22 (AM2302). Naylamp Mechatronics SAC.

<https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>

Naylamp mechatronics SAS. (2023). *RASPBERRY PI 4 B 4GB*. naylamp mechatronics SAS.

<https://naylampmechatronics.com/raspberry-pi/742-raspberry-pi-4-b-4gb.html>

Netafim.co. (2025). *¿Qué es el riego por goteo?* Netafim.co an Orbia business.

<https://www.netafim.co/riego-por-goteo/>

NutriControl. (27 de 01 de 2020). *La importancia de la Temperatura en un Cultivo invernadero*.

NutriControl. <https://nutricontrol.com/es/la-importancia-de-la-temperatura-para-el-cultivo-en-invernadero/>

ORACLE. (2025). *¿Qué es el IoT?* Oracle Latam. [https://www.oracle.com/co/internet-of-](https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-is-iot/)

[things/what-is-iot/](https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-is-iot/)

Organizacion de Naciones unidad ONU. (2025). *Objetivos de Desarrollo sostenible*. Objetivo 2:

Poner fin al hambre. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>

Organizacion de Naciones Unidas - ONU. (2023). *DESAFÍOS GLOBALES: ALIMENTACION -*

Datos sobre el hambre y la nutrición. Organizacion de Naciones Unidas - ONU.

<https://www.un.org/es/global-issues/food#:~:text=Datos%20sobre%20el%20hambre%20y,sufrir%C3%A1n%20desnutrici%C3%B3n%20cr%C3%B3nica%20en%202030>.

Organizacion de Naciones Unidas. (2018). *Hambre Cero*. Naciones Unidas.

<http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-2-zero-hunger.html>

Organizacion de Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible -*

ONU. Objetivo 2 - Hambre cero. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf?_gl=1*16cq9o0*_ga*MzQ5MTExNTcuMTc0NzUzNzc3Mg..*_ga_TK9BQL5X7Z*cze3NDc1Mzc3NzEkzbEkZzAkdDE3NDc1Mzc3NzEkajAkBDaKaDA.*_ga_SCSJZ3XC0L*cze3NDc1Mzc3NzIkzbEkZzAkdDE

Organizacion de Naciones Unidas. (2025). *Campaña Think, Eat, Save -*

<http://www.thinkeatsave.org/>. Organizacion de Naciones Unidas.

<https://www.ccacoalition.org/resources/think-eat-save-reduce-your-foodprint>

Perdigón Llanes, R. &. (01 de 06 de 2021). *Comparación y selección de técnicas de inteligencia*

artificial para pronosticar las producciones de leche bovina. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 15(2), 24-43. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992021000200024&lng=es&tlng=es.

Plant Steps LTD. (s.f.). *How does Supragarden work?* supragarden.com.

<https://www.supragarden.com/>

Programa mundial de alimentos - WFP. (2025). *Programación para la resiliencia*. Programa

mundial de alimentos. <https://es.wfp.org/programacion-de-resiliencia>

Red Hat User Group. (27 de 09 de 2021). *¿Qué es la transmisión de datos?* Red Hat User Group en Latinoamérica. <https://www.redhat.com/es/topics/integration/what-is-streaming-data>

Rodriguez, S. (28 de 02 de 2022). *La IA también puede ser 'débil'. Todo lo que debes saber.*

AiTalks. es - Big Data Magazine. <https://aitalks.es/la-ia-tambien-puede-ser-debil-todo-lo-que-debes-saber/>

Rojas Cardona, O., Vaca Lozano, J. Z., & Vaca Lozano, Y. A. (2017). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para invernaderos Hidropónico*. Universidad nacional abierta y a distancia (UNAD) - Escuela de ciencias basicas, tecnologia e ingenieria.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13093/1022343620.pdf?sequence=1>

Sela, G. (03 de 05 de 2023). *PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO.*

cropaia.com. <https://cropaia.com/es/blog/sistemas-de-riego/>

Stryker, C., & Kavlakoglu, E. (2025). *¿Qué es la inteligencia artificial o IA?* Temas - IBM

Think. <https://www.ibm.com/mx-es/topics/artificial-intelligence>

tecnologiahorticola.com. (2021 de 03 de 23). *Hidroponía actual, el paso hacia la 2a Gran Revolución Verde*. tecnologiahorticola.com.

<https://www.tecnologiahorticola.com/hidroponia-actual-el-paso-hacia-la-2a-gran-revolucion-verde/>

The MathWorks, Inc. (2025). *Redes neuronales convolucionales - ¿Qué son las redes neuronales*

convolucionales? Matlab. <https://la.mathworks.com/discovery/convolutional-neural-network.html>

ticarte.com. (11 de 10 de 2019). *Qué es la transmisión Wifi?* ticarte.com.

<https://www.ticarte.com/contenido/que-es-la-transmision-wifi>

UNICEF. (2025). *Programa Nutricion - UNICEF*. UNICEF. <https://www.unicef.org/nutrition>

Universidad catòlica de colombia. (2020). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES MEDIANTE IOT EN LOS CULTIVOS URBANOS DE LA FUNDACIÓN MUJERES EMPRESARIAS MARIE POUSSEPIN*. Facultad de Ingenieria - Programa Ingenieria Electronica y Telecomunicaciones.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dbe9100-e30b-4c32-a627-a0492baa7f56/content>

Universidad de Antioquia. (2025). *Agricultura de precisión*. Universidad de Antioquia - portafolio Tecnológico.

https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/extension/portafoliotecnologico/articulos/Agricultura_de_precision

Universidad de Cadiz. (11 de 07 de 2017). *Gestion de sistema de riego automatico con Arduino*. Escuela Superior de Ingenieria - Ingenieria T´ecnica en Informaatica de Gestion.

http://www2.imse-cnm.csic.es/~juanle/Documents/MasterBacherlorTheses/AntonioBarciaGarcia_2017.pdf

Apéndices

Apéndice A

Tabla 2 . Presupuesto del Prototipo del Proyecto.

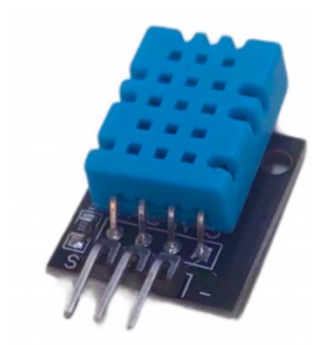
Definir el presupuesto necesario para la implementación de la solución

Item	Recurso	Descripción	Presupuesto
	Equipo Humano	2 personas	
	Equipos y Software	Sensor DHT22 (x4) Sensor DS18B20 Placa ESP32 (Nodemcu) Celda Peltier Disipador de calor para Celda Peltier. Calentador de agua Eléctrico Cableado Blindado (3M)	\$600.000
	Viajes y Salidas de Campo	Pruebas del cultivo Supervisado en Casa Pruebas de transmisión de datos.	\$400.000
	Materiales y suministros	Suministros agrícolas y de construcción para un sistema vertical de prueba (PVC, Bomba, Manguera, Hielera de Icopor)	\$300.000
	Bibliografía		
	Total		1'350.000

Nota: Tabla de presupuesto. Elaboración Propia,2026.

Apéndice B

Sensor DHT11



Nota. (Naylamp Mechatronics SAC, 2023).

El sensor DHT11 es un componente ampliamente utilizado para la medición de temperatura y humedad relativa en distintos tipos de aplicaciones electrónicas. Se destaca por ofrecer una señal digital calibrada de fábrica, lo cual garantiza una alta precisión y confiabilidad en el tiempo. Esta estabilidad se debe, en parte, a su conversor analógico-digital de 16 bits integrado y a la presencia de dos sensores resistivos: un termistor NTC para la medición de temperatura y otro sensor para la humedad.

Este sensor proporciona una respuesta rápida y confiable, siendo capaz de medir la humedad relativa en un rango aproximado de 20 % a 95 %, y la temperatura entre 0 °C y 50 °C. Cada unidad es calibrada de forma individual en laboratorio, y los coeficientes de calibración se almacenan en una memoria OTP (*One-Time Programmable*), que se utiliza durante el proceso de conversión de señal para garantizar la exactitud de las mediciones.

El protocolo de comunicación empleado por el DHT11 es del tipo uni-hilo (*1-wire*), lo cual facilita una integración rápida y sencilla en distintos proyectos. Además, posee un tamaño compacto, bajo consumo energético y puede transmitir la señal hasta 20 metros, lo que lo convierte en una opción versátil para proyectos de electrónica y monitoreo ambiental.

Especificaciones Técnicas

Humedad relativa

Resolución: 16 bits

Repetibilidad: ± 1 % HR

Precisión a 25 °C: ± 5 % HR

Intercambiabilidad: total

Tiempo de respuesta: 6 s a 25 °C (1/E)

Histéresis: $< \pm 0,3$ % HR

Estabilidad a largo plazo: $< \pm 0,5$ % HR por año

Temperatura:

Resolución: 16 bits

Repetibilidad: $\pm 0,2$ °C

Precisión a 25 °C: ± 2 °C

Tiempo de respuesta: 10 s a 25 °C (1/E)

Características eléctricas:

Voltaje de alimentación: 3.5 a 5.5 V CC

Corriente de operación: 0.3 mA

Corriente en espera: 60 μ A

Estas propiedades hacen del DHT11 un sensor ideal para aplicaciones que requieren un control ambiental básico pero confiable, como estaciones meteorológicas, sistemas de automatización, proyectos de domótica o dispositivos IoT.

Sensor DS18B20 (Sensor Temperatura).

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren mediciones precisas y confiables, incluso en condiciones ambientales adversas. Su principal ventaja es el uso del protocolo de comunicación 1-Wire, que permite transmitir datos a través de un solo pin digital. Este protocolo, además de simplificar la conexión, permite enlazar múltiples sensores en el mismo bus gracias a que cada unidad DS18B20 contiene un número de serie único grabado en silicio. (Naylamp Mechatronics SAC, 2023).

El encapsulado original del DS18B20 es del tipo TO-92, similar al de pequeños transistores. Sin embargo, una presentación muy común en aplicaciones prácticas es la versión impermeable, que integra el sensor en una cápsula de acero inoxidable. Esta variante lo hace ideal para entornos húmedos o con contacto directo con líquidos, y permite tomar mediciones a distancia sin pérdida de señal ni interferencias, incluso cuando se utilizan cables largos.

El DS18B20 ofrece lecturas de temperatura con una resolución configurable de 9 a 12 bits, y cuenta con un tiempo de respuesta menor a 750 milisegundos. Su rango de medición va desde $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precisión de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estas características lo hacen especialmente útil en sistemas de control de temperatura para HVAC, monitoreo ambiental en edificaciones, seguimiento de condiciones térmicas en maquinaria y procesos industriales, entre otras aplicaciones.

Especificaciones técnicas

Alimentación: 3.0 V a 5.5 V

Rango de temperatura: $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-67\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $257\text{ }^{\circ}\text{F}$)

Precisión: $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85\text{ }^{\circ}\text{C}$

Resolución: configurable de 9 a 12 bits

Protocolo de comunicación: 1-Wire (requiere solo un pin digital)

Capacidad de múltiples sensores en el mismo bus

Tiempo de respuesta: <750 ms

Configuración de cables:

Rojo: VCC

Negro: GND

Azul: DATOS

Dimensiones del encapsulado:

Tubo de acero inoxidable: 6 mm de diámetro por 35 mm de largo

Diámetro del cable: 4 mm

Longitud del cable: 90 cm

Gracias a su resistencia, precisión y flexibilidad de conexión, el sensor DS18B20 es una excelente alternativa para sistemas de medición de temperatura en tiempo real, tanto en interiores como en exteriores.

Apéndice C

NodeMCU ESP32



Nota. Naylamp Mechatronics SAC, 2023.

La placa de desarrollo ESP32 DEVKIT V1, también conocida como NodeMCU-32, es una herramienta altamente eficiente para el prototipado rápido de proyectos de Internet de las Cosas (IoT). Este módulo integra en una sola placa el SoM ESP-WROOM-32, basado en el SoC ESP32 de Espressif Systems, un microcontrolador de alto rendimiento que representa la evolución del popular ESP8266, mejorando significativamente sus capacidades de procesamiento y conectividad.

Entre sus principales características se destaca la inclusión del chip CP2102, encargado de la conversión USB-serial, lo cual permite programar la placa fácilmente a través de un cable USB. Además, cuenta con reguladores de voltaje y LED indicadores, facilitando el monitoreo visual durante el desarrollo de los proyectos.

A nivel de procesamiento, el ESP32 incorpora una CPU de 32 bits con doble núcleo Tensilica Xtensa LX6, que puede alcanzar frecuencias de hasta 240 MHz, brindando un rendimiento de hasta 600 DMIPS. Estos núcleos pueden ser utilizados de forma independiente, lo cual resulta útil en tareas paralelas o en modos de bajo consumo, gracias al procesador secundario dedicado.

En cuanto a conectividad, el ESP32 permite comunicación mediante Wi-Fi (802.11 b/g/n/e/i) y Bluetooth versión 4.2, incluyendo tanto BR/EDR como Bluetooth Low Energy (BLE), lo cual lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones IoT.

Especificaciones técnicas

Voltaje de alimentación (USB): 5 V CC

Voltaje de E/S: 3.3 V CC

Placa: ESP32 DEVKIT V1 (Espressif)

SoM: ESP-WROOM-32

SoC: ESP32 (ESP32-D0WDQ6)

CPU: Dual-Core Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits

Frecuencia de reloj: hasta 240 MHz

Desempeño: hasta 600 DMIPS

Procesador secundario: modo de ultra bajo consumo

Memoria:

458 ROM

520 SRAM 16 KB

SRAM en RTC

MB (4) QSPI Flash/SRAM

Pines:

30 pines totales

24 pines digitales GPIO

16 pines PWM

18 entradas analógicas ADC (3.3 V, 12 bits, tipo SAR)

2 salidas DAC (8 bits)

Interfaz UART: 2

Conversor USB-serial: CP2102

Conectividad:

Wi-Fi: hasta 150 Mbps a 2.4 GHz

Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE

Antena: integrada en la PCB

Seguridad:

Soporte para WPA/WPA2, WFA, WAPI

1024-bit OTP, hasta 768 bits personalizables

Aceleradores criptográficos: AES, SHA-2, RSA, ECC, RNG

Dimensiones: 55 x 28 mm

Estas características convierten al ESP32 DEVKIT V1 en una plataforma ideal para desarrolladores y estudiantes que buscan implementar soluciones conectadas, eficientes y seguras en el ámbito de la automatización, monitoreo ambiental, domótica, y más.

Bomba de Agua Sumergible SP-800 (Resun)

En el prototipo se instalan dos bombas independientes que son encendidas a través de la programación que se diseñó en la ESP32 y los relé de la tableta del prototipo.

Una de las bombas (SP-800) tiene un alcance máximo de 80 cm de altura, el cual también tiene un botón para la regulación del caudal y con el grosor y direccionamiento de la mangueta, podemos alimentar el prototipo en la parte superior y aprovechando el diseño en zigzag y la gravedad completa el ciclo del agua llevándola a mismo tanque de agua (5L) con los nutrientes diluidos para el crecimiento y maduración de las plántulas de cilantro. (MR. Pez, 2025).

Características de la Bomba

Tamaño compacto y con regulador de caudal.

Motor completamente sellado para maximizar la durabilidad de trabajo.

Bajo nivel de ruido en el proceso de funcionamiento.

Uso en interiores o exteriores.

Elección perfecta para una Nota de mesa e ideal para la circulación del agua en un pequeño acuario o tanque.

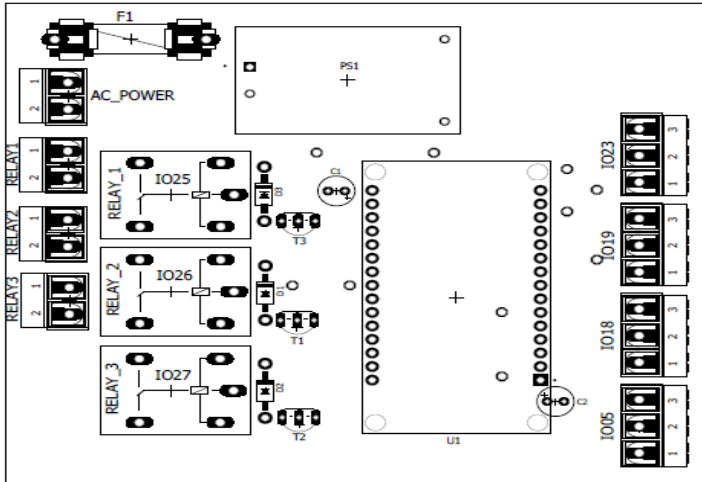
Consumo: 5.8 W

Capacidad de bombeo: 284 L/H – 75 GPH

Altura Max: 0,80 m.

Apéndice D

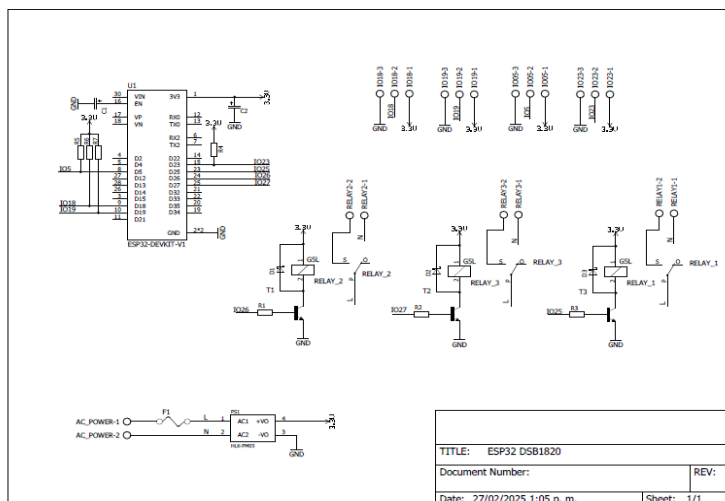
Diseño completo de la tarjeta de control del prototipo.



Nota. Elaboración propia, 2026.

Apéndice E

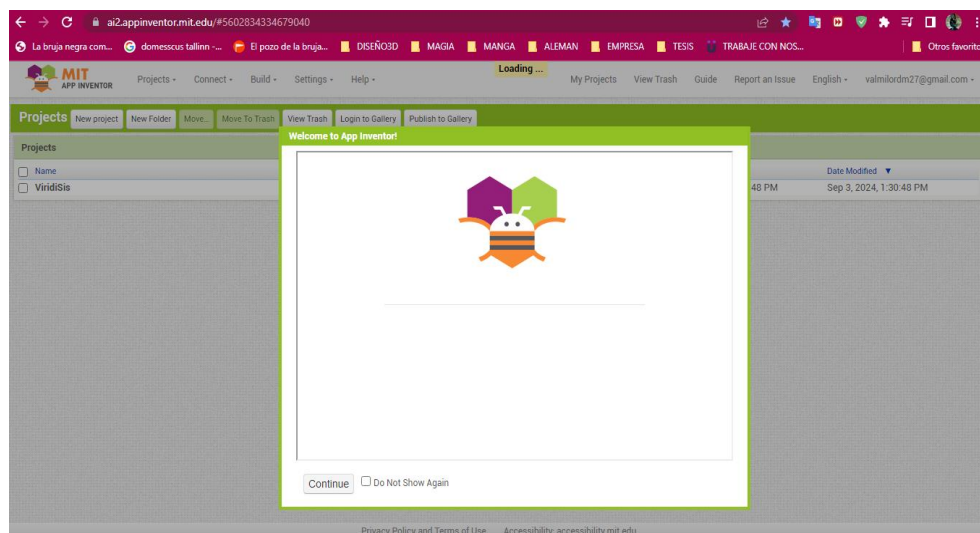
Plano de esquema eléctrico de tarjeta de control.



Nota. Elaboración propia, 2026.

Apéndice F

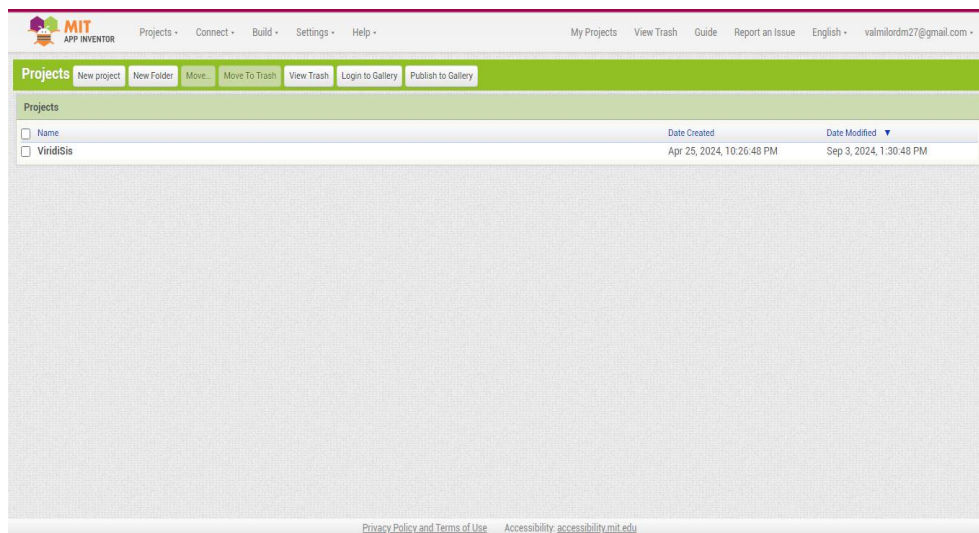
Ingreso a la plataforma de App inventor



Nota. Luego de la creación de la cuenta y el proyecto, dándole un nombre y definiendo gráficamente el mismo. Elaboración propia, 2026.

Apéndice G

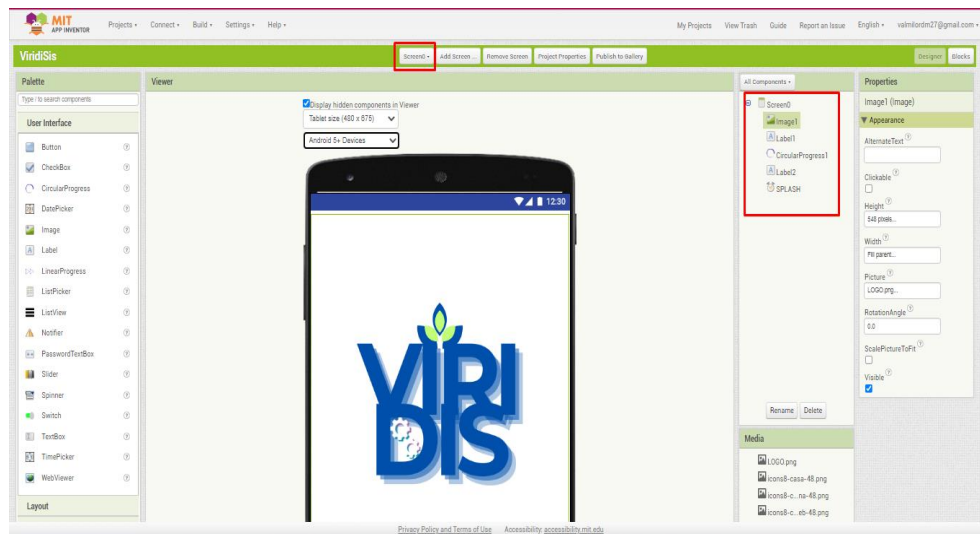
Creación de proyecto en app inventor y definición del nombre del aplicativo.



Nota. Elaboración Propia, 2026.

Apéndice H

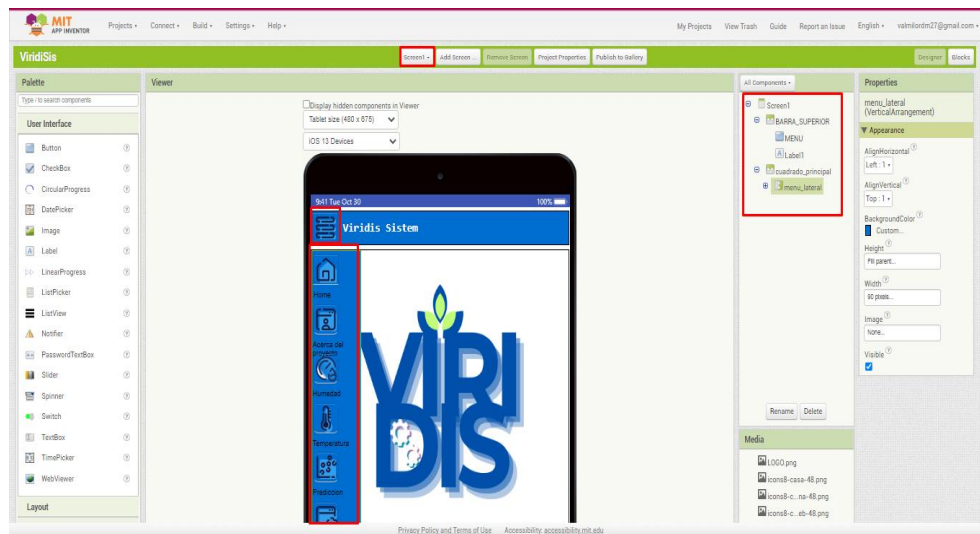
Splash-art de Inicio de aplicativo



Nota. Elaboración propia, 2026.

Apéndice I

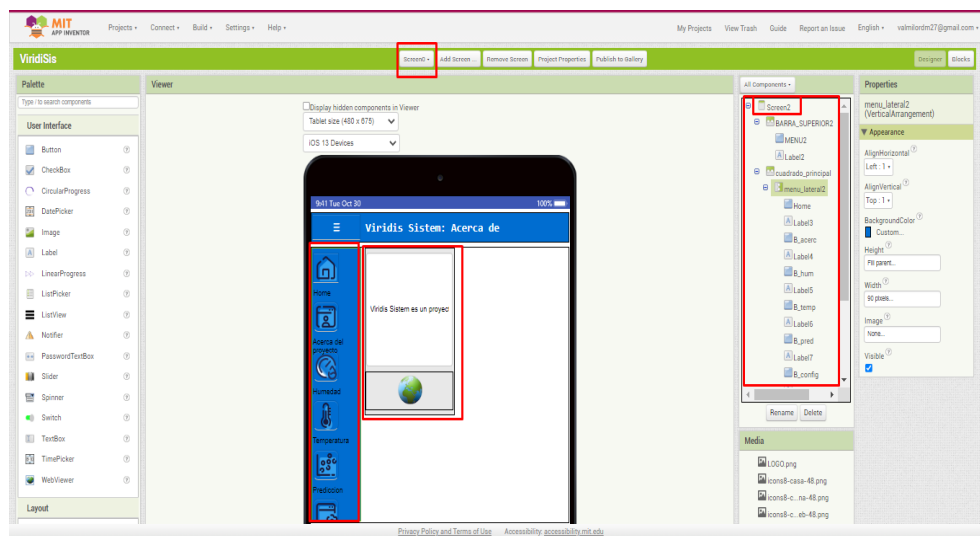
Diseño de panel de inicio del aplicativo, desarrollando un menú hamburgués



Nota. Elaboración Propia,2026.

Apéndice J

Desarrollo de las distintas “Screen” o pantallas del aplicativo, conectadas a sus correspondientes botones de ingreso.

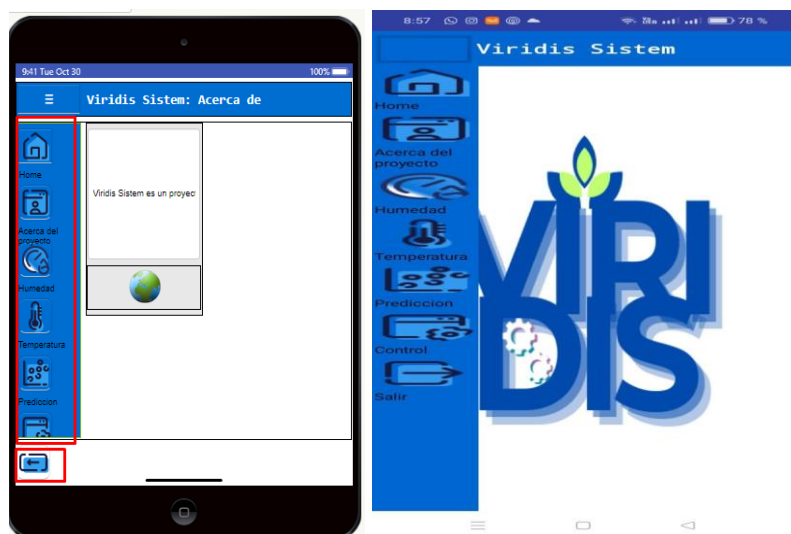


Nota. Elaboración Propia,2026.

Una vez definidas las vistas, se procede a insertar los botones en el menú de botones de app y a enlazarlo en las distintas vistas.

Apéndice K

Vista de Desarrollo grafico (botones) del aplicativo en App inventor

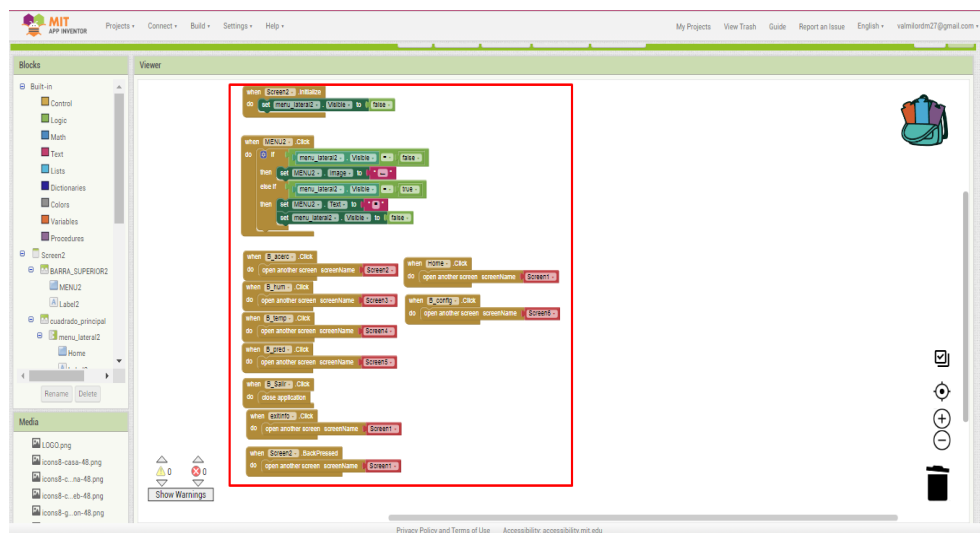


Nota. Se evidencia en el lado izquierdo la imagen desde app-inventor de previsualización del aplicativo. Al lado derecho se evidencia la versión final del mismo en celular Android.

Elaboración propia,2026.

Apéndice L

Programación en bloques para la funcionalidad de cada botón del menú principal del aplicativo

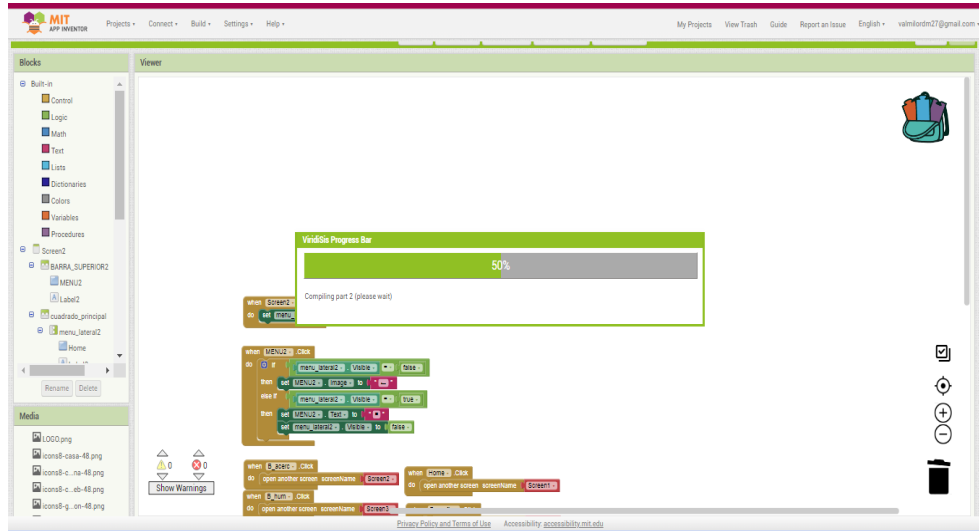


Nota: Elaboración propia,2026.

Se evidencia la visualización del tipo de codificación que se realizó en app-inventor para el aplicativo; este tipo de codificación por bloques hace su fácil interpretación y rápido desarrollo.

Apéndice M

Imagen explicativa de la compilación como producto



Nota. En la imagen se muestra el proceso de carga para la compilación y posterior exportación del proyecto como una APK instalable para dispositivos Android. Elaboración propia, 2026.