

Sistema de control de cámaras de germinación de semillas

Fabian Yovanny Hernandez Guzmán

Asesora

July Natalia Mora Alfonso

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Tecnología en Automatización Electrónica Industrial

2025

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema	12
Pregunta Problémica	14
Justificación	15
Objetivos	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos	19
Marco Teórico	20
Estado del Arte.....	23
Metodología	26
Diseño y Planificación del Proyecto	29
Identificación de Variables	29
Identificación de Componentes	32
Presupuesto	38
Implementación de la Interfaz de Usuario	41
Diseño de Interfaz de Usuario	41
Conectar Dispositivo a Arduino Cloud.....	41
Crear Variables Arduino Cloud.....	43
Desarrollo del Firmware y Circuitos Electrónicos.....	49
Desarrollo del Firmware	49
Recolección y Gestión de Datos	59
Recolección de Datos	59
Análisis de los Resultados de las Pruebas.....	62
Análisis de Datos	62
Pruebas y Validación del Prototipo	68

Pruebas y Evaluación.....	68
Procedimiento:.....	75
Resultados	77
Conclusiones	80
Referencias Bibliográficas	82
Apéndices.....	86

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Identificación de Componentes y selección de conexión en entradas y salidas</i>	31
Tabla 2 <i>Cuadro Comparativo Selección de Componentes</i>	35
Tabla 3 <i>Presupuesto</i>	39

Lista de figuras

Figura 1 <i>Diagrama de Flujo de la Metodología</i>	28
Figura 2 <i>Selección de Dispositivo en Arduino Cloud</i>	43
Figura 3 <i>Creación de iCloud variables</i>	46
Figura 4 <i>Creación de Dashboard</i>	47
Figura 5 <i>Dashboard con variables</i>	47
Figura 6 <i>Esquemático Tarjeta de Control</i>	50
Figura 7 <i>Alimentación y Regulación de Voltaje del Circuito</i>	51
Figura 8 <i>Conexión RESET y PROG. de ESP-12F</i>	52
Figura 9 <i>Entradas Análogas</i>	53
Figura 10 <i>Salidas Digitales</i>	54
Figura 11 <i>Salidas PWM</i>	56
Figura 12 <i>Ubicación de Descarga de Datos</i>	60
Figura 13 <i>Selección Variables de Descarga</i>	61
Figura 14 <i>Ejemplo de Lectura de Datos Descarga Arduino cloud</i>	63
Figura 15 <i>Grafica Simulada de Temperatura</i>	64
Figura 16 <i>Grafica Simulada de Humedad</i>	64
Figura 17 <i>Grafica Simulado Estado ON/OFF Electroválvula</i>	65
Figura 18 <i>Grafica Simulado Estado ON/OFF Resistencias</i>	65
Figura 19 <i>Grafica Simulado Estado ON/OFF Ventiladores y luz led</i>	66
Figura 20 <i>Diseño Tarjeta PCB</i>	69
Figura 21 <i>Diseño tarjeta 3D</i>	69
Figura 22 <i>Desarrollo de Tarjeta PCB</i>	70

Figura 23 <i>Ensamblaje de Tarjeta PCB</i>	70
Figura 24 <i>Lectura de Datos Sensor DTH11</i>	72
Figura 25 <i>Activación Salida Digital Electroválvula</i>	73
Figura 26 <i>Activación Salida Digital Ventilador</i>	73
Figura 27 <i>Activación Salida PWM Resistencia de Calor</i>	74
Figura 28 <i>Activación Salida PWM luz Led</i>	74

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Especificaciones de Componentes Utilizados</i>	86
Apéndice B <i>Pinout del Sistema</i>	87
Apéndice C <i>Variables en Arduino Cloud</i>	88

Resumen

Las cámaras de germinación son sistemas que recrean las condiciones ideales de estimulación de las plantas reduciendo el tiempo de germinación de la semilla. Por lo tanto, con el uso de sensores y sistemas de control e interacción de temperatura, humedad, luz y circulación de aire se crea el ambiente necesario para cualquier semilla. Estabilizando las variables por medio de una tarjeta controladora permitiendo que el usuario pueda tener una interfaz amigable en la que pueda monitorear el cualquier momento dada a la información que se esté subiendo a la nube, información que también facilita la investigación y el desarrollo de nuevas plantas o estudio de factores que influyen en el proceso de germinación. En la cámara de germinación se tendrá en la parte exterior una pantalla con un menú que le permita seleccionar una semilla y modificar parámetros, luego de esto la cámara empieza a trabajar de forma automática retirando la supervisión humana constante.

Palabras Clave: Cámaras de germinación, control, climatización, interfaz

Abstract

Germination chambers are systems that recreate the ideal conditions for plant stimulation, reducing seed germination time. Therefore, with the use of sensors and control systems and interaction of temperature, humidity, light and air circulation, the necessary environment for any seed is created. Stabilizing the variables by means of a controller card allows the user to have a friendly interface in which they can monitor at any time given the information that is being uploaded to the cloud, information that also facilitates research and development of new plants or study of factors that influence the germination process. In the germination chamber there will be a screen on the outside with a menu that allows you to select a seed and modify parameters, after this the chamber begins to work automatically removing constant human supervision.

Keywords: Germination chambers, control, climate control, interface.

Introducción

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño, desarrollo y validación de una tarjeta de control automatizada para el control de una cámara de germinación, la cual está destinada al cultivo controlado de semillas en sus primeras etapas. La germinación de semillas depende fuertemente de condiciones ambientales estables, especialmente temperatura y humedad. Por ello, es fundamental contar con un sistema que no solo monitoree dichas variables, sino que también tenga la capacidad de actuar automáticamente para mantenerlas dentro de los rangos ideales.

Desde un enfoque práctico y orientado al Internet de las Cosas (IoT), se empleó como núcleo de control un microcontrolador ESP8266, que brinda conectividad WiFi-integrada y es compatible con la plataforma Arduino Cloud. Esta elección permitió implementar un sistema de control remoto accesible desde cualquier lugar con acceso a Internet, facilitando tanto el monitoreo en tiempo real como la activación o desactivación manual de los actuadores desde una interfaz gráfica amigable y configurable.

El proyecto surge de una necesidad concreta: automatizar el entorno de germinación con bajo costo, escalabilidad y facilidad de uso. Las cámaras de germinación suelen depender de mecanismos manuales o sistemas costosos. Este diseño busca ofrecer una solución de bajo costo, basada en componentes ampliamente disponibles, pero con suficiente robustez para asegurar el funcionamiento continuo durante los ciclos de germinación. Para lograrlo, se diseñó una tarjeta electrónica a medida, capaz de operar con una fuente de 24 V, lo que permite alimentar directamente actuadores de mayor potencia como ventiladores, resistencias de calor o electroválvulas, sin necesidad de fuentes intermedias.

La tarjeta incluye un regulador de voltaje, optoacopladores para aislamiento de señales, salidas PWM y digitales controladas por el microcontrolador, y protecciones básicas contra sobrecorrientes. Se integraron sensores de temperatura y humedad (DHT11 y DHT22, según disponibilidad), que envían datos al ESP8266, el cual procesa la información y toma decisiones en función de umbrales previamente definidos por el usuario desde la nube. La lógica incluye ciclos automáticos para iluminación y ventilación, así como el control automático de temperatura y humedad con base en los valores ingresados manualmente.

Durante la etapa de diseño, también se consideraron aspectos de seguridad eléctrica, como la correcta disposición de pistas de alto y bajo voltaje en el PCB, y la elección adecuada de MOSFETs y relés para controlar cargas de corriente media (hasta 5 A). Se incorporaron estrategias para asegurar que el sistema arranque en un estado seguro (todas las salidas en bajo), evitando activaciones accidentales.

En resumen, esta introducción sienta las bases de un proyecto que no solo resuelve un problema puntual en un entorno agrícola o de laboratorio, sino que también representa una oportunidad de aprendizaje profundo en electrónica, diseño de hardware personalizado, programación orientada a IoT, control de sistemas embebidos y soluciones basadas en la nube. La integración entre la tarjeta física y la plataforma Arduino Cloud constituye una combinación poderosa para proyectos que requieren automatización remota y confiabilidad operativa. El presente informe expone los resultados alcanzados y las conclusiones obtenidas a lo largo de la ejecución del proyecto.

Planteamiento del Problema

A nivel mundial, según la FAO, las plantas conforman el 80% de los alimentos que consumimos y producen el 98% del oxígeno que respiramos. Para el 2050, se estima que el mundo necesitará un 50% más de alimentos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), *Cómo alimentar al mundo en 2050*, 2016).

En el contexto actual de la agricultura, optimizar los procesos de producción es fundamental para enfrentar los desafíos relacionados con la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico. Sin embargo, la falta de tecnologías adecuadas y sistemas de gestión eficientes en el sector agrícola puede obstaculizar el progreso hacia la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas, (2022). De acuerdo con un artículo publicado el 31 de mayo de 2023 en *Sustainable Food Technology*, la adopción de tecnologías digitales en la agricultura puede reducir los costos en al menos un 23% y disminuir el volumen de residuos en casi un 5% en una actividad promedio (*Sustainable Food Technology*, 2023).

En Colombia, se estima que la producción de alimentos alcanza 28.5 millones de toneladas anuales. No obstante, el 40.5% de esta producción, especialmente en raíces, frutas y tubérculos, se pierde debido a prácticas agrícolas inadecuadas y fallas técnicas, como el uso incorrecto de semillas y condiciones deficientes de germinación. Estos problemas impiden que las plantas alcancen su madurez, lo que resulta en la pérdida de cultivos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), *Cómo alimentar al mundo en 2050*, 2016).

La germinación de semillas es un proceso fundamental en la producción agrícola, ya que determina en gran medida el éxito y la calidad de los cultivos. Este proceso está influenciado por

varios factores ambientales, incluyendo la temperatura, la humedad y la luz. La falta de control preciso sobre estas condiciones puede llevar a una germinación deficiente, pérdidas en el rendimiento y desperdicio de recursos agrícolas.

En el caso de las semillas de tomate, se ha observado que la temperatura óptima para la germinación oscila entre 20°C y 30°C. Las semillas de tomate suelen tener una tasa de germinación del 90% en estas condiciones, pero esta puede disminuir significativamente si la temperatura se desvía de este rango ideal. Asimismo, la humedad constante es crucial, ya que la deshidratación de las semillas puede resultar en una germinación irregular o fallida. La exposición adecuada a la luz también juega un papel importante, especialmente durante las primeras etapas de germinación (Arancon, y otros, 2012).

De acuerdo con (Javaid & Turville, 2019), en cuanto a la lechuga, su germinación se ve favorecida en un rango de temperaturas de 15°C a 25°C. Las investigaciones han demostrado que la germinación de las semillas de lechuga puede alcanzar tasas del 95% bajo condiciones óptimas de luz y humedad. Sin embargo, la exposición a temperaturas superiores a 30°C puede inhibir completamente la germinación.

Monitorear y controlar el proceso de germinación puede ser complicado por diversas razones. Una de las principales dificultades radica en la necesidad de una supervisión constante, ya que el éxito del proceso depende en gran medida de la atención y precisión de las personas encargadas. Además, gestionar los factores ambientales es complejo debido a la falta de instrumentos adecuados para verificar si las condiciones son las óptimas.

Pregunta Problemática

¿Cómo el desarrollo de un sistema de control electrónico para cámaras de germinación puede optimizar las condiciones ambientales necesarias para mejorar la tasa de germinación de semillas, reduciendo las pérdidas agrícolas y aumentando la eficiencia productiva?

Justificación

El problema que se investiga es la ineficiencia en el proceso de germinación de semillas en la agricultura, específicamente en cultivos como el tomate y la lechuga. Se busca desarrollar un prototipo de control electrónico para cámaras de germinación que permita monitorear y controlar de manera precisa los factores ambientales que influyen en el proceso de germinación.

Existe una necesidad de optimizar los procesos de producción agrícola para enfrentar los desafíos relacionados con la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Un proyecto como el desarrollo de un prototipo de control electrónico puede ayudar a mejorar la eficiencia en la germinación de semillas, aumentando así la producción agrícola y reduciendo las pérdidas.

La realización de este proyecto es viable debido a la demanda del mercado, en particular por la urgencia en el sector agrícola colombiano de contar con sistemas de control ambiental accesibles y eficientes. Esto resulta fundamental para pequeños y medianos productores que enfrentan la variabilidad climática y las consecuencias del cambio climático, factores que generan pérdidas en la producción y limitan la competitividad. Esta situación impulsa el desarrollo de soluciones que garanticen condiciones óptimas de temperatura y humedad en espacios controlados como invernaderos y cámaras de germinación. Asimismo, la disponibilidad de tecnologías económicas, los beneficios en términos de sostenibilidad y reducción de costos, junto con la posibilidad de establecer colaboraciones con entidades interesadas en la innovación agrícola, refuerzan aún más la viabilidad del proyecto.

El prototipo de control electrónico beneficiaría a diversos segmentos de la población:

Agricultores: Les proporcionaría una herramienta para monitorear y controlar los factores ambientales en las cámaras de germinación, lo que les permitiría mejorar la eficiencia en la producción agrícola y reducir las pérdidas. Sin embargo, es importante reconocer que, en el

contexto colombiano, la adopción de nuevas tecnologías puede enfrentarse a cierta resistencia inicial por parte de los agricultores, debido a factores como la falta de capacitación, los costos de inversión o la preferencia por métodos tradicionales. Por ello, el proyecto contemplará estrategias de acompañamiento técnico y sensibilización que faciliten la aceptación y el uso efectivo de la herramienta.

Consumidores: Contribuiría a garantizar un suministro más constante y confiable de productos agrícolas, lo que podría estabilizar los precios de los alimentos y mejorar el acceso a alimentos frescos y saludables.

Sociedad en general: Promovería una agricultura más eficiente y sostenible, lo que tendría impactos positivos en la seguridad alimentaria, la economía y el medio ambiente a nivel nacional e internacional. En Colombia, el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 plantea la modernización y tecnificación del sector agropecuario como parte de la transformación productiva, la internacionalización y la acción climática, priorizando el uso de innovación, digitalización y tecnologías limpias (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

Asimismo, se busca la diversificación de la oferta agropecuaria mediante instrumentos como los Planes de Admisibilidad Sanitaria (PAS), que faciliten el acceso a nuevos mercados internacionales bajo criterios técnicos y sostenibles (Presidencia de la República, 2023). El seguimiento al PND muestra avances en la transformación digital del sector (35,7 %), pero también señala la necesidad de fortalecer el acompañamiento técnico y la divulgación de programas del MinTIC (Consejo Nacional de Planeación (CNP), 2024). Finalmente, a través de la Agencia de Desarrollo Rural se han financiado proyectos de infraestructura y asistencia técnica que respaldan el proceso de modernización agrícola en el país (Agencia de Desarrollo Rural (ADR), 2025).

El estudio implica el diseño y desarrollo de un prototipo de control electrónico para cámaras de germinación, lo que contribuye al avance de la tecnología en el campo de la agricultura de precisión. El desarrollo de este proyecto es válido porque responde a la necesidad de los agricultores de contar con mecanismos que faciliten el control de los factores ambientales durante la germinación de semillas, un proceso que requiere condiciones específicas para lograr altos niveles de productividad. En Colombia, la variabilidad climática y las limitaciones de recursos tecnológicos dificultan mantener estos parámetros de manera constante, lo que genera pérdidas económicas y reduce la competitividad de los productores, en especial de los pequeños y medianos. Por ello, resulta pertinente impulsar un sistema que, a partir de tecnologías accesibles y adaptadas al contexto nacional, contribuya a mejorar la eficiencia, sostenibilidad y competitividad de la producción agrícola.

En el campo de la tecnología en automatización electrónica aplicada a la agricultura, este proyecto implica la oportunidad de aplicar conocimientos técnicos y científicos para desarrollar soluciones innovadoras que aborden problemas reales. En el contexto colombiano, esta iniciativa se articula con los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, el cual establece como prioridad la modernización y tecnificación del agro, integrando la digitalización, la sostenibilidad ambiental y la innovación tecnológica como ejes para fortalecer la productividad y competitividad del campo (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

De igual forma, la Presidencia de la República ha señalado la importancia de diversificar la oferta agropecuaria mediante instrumentos como los Planes de Admisibilidad Sanitaria (PAS), lo que evidencia el interés gubernamental en impulsar la adopción de soluciones técnicas que faciliten el acceso a nuevos mercados internacionales (Presidencia de la República, 2023). Por su parte, la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC) resalta que la tecnificación y

digitalización del agro son esenciales para responder a los retos del cambio climático y para asegurar la sostenibilidad de la producción alimentaria en el país (SAC, 2023).

En este sentido, el proyecto no solo aborda un problema técnico, sino que se enmarca en las políticas nacionales que buscan consolidar a Colombia como una potencia agroalimentaria sostenible y tecnológicamente competitiva.

A nivel disciplinario, el estudio contribuye al avance de la agricultura de precisión al desarrollar un prototipo de control electrónico que puede aplicarse en diversas áreas de la agricultura para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad.

Al abordar estos desafíos, el desarrollo de un prototipo de control electrónico para cámaras de germinación tiene el potencial de contribuir al logro de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluidos Hambre Cero (ODS 2), Vida de Ecosistemas Terrestres (ODS 15) y Acción por el Clima (ODS 13). Al mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción agrícola, este sistema puede desempeñar un papel fundamental en la promoción de prácticas agrícolas responsables y en la mitigación de los impactos negativos del cambio climático en la agricultura.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo de control electrónico para la monitorización y el control de cámaras de germinación.

Objetivos Específicos

Identificar los componentes electrónicos para el diseño electrónico del prototipo de control y el desarrollo del firmware.

Diseñar la interfaz de usuario intuitiva que permita a los agricultores la gestión de condiciones ambientales de la cámara de germinación de forma remota a través de dispositivos móviles o computadoras.

Evaluar el funcionamiento del prototipo electrónico mediante diferentes pruebas y el análisis de los resultados obtenidos

Marco Teórico

El presente marco teórico busca fundamentar los aspectos conceptuales y técnicos necesarios para el diseño y desarrollo de un sistema electrónico de control aplicado a cámaras de germinación. En esta sección se presentan los principios biológicos relacionados con la germinación de semillas, así como los fundamentos de la agricultura de precisión, el uso de tecnologías electrónicas en el sector agrícola y las metodologías empleadas para la creación de prototipos electrónicos. Este marco permitirá comprender el contexto científico y tecnológico que sustenta el proyecto y facilitará la integración de los distintos componentes que lo conforman.

Germinación de Semillas. La germinación es un proceso biológico mediante el cual una semilla desarrolla una nueva planta. Está influenciada por factores ambientales como la temperatura, la humedad, la oxigenación y la luz (Bewley, Bradford, Hilhorst, & Nonogaki, 2013). Estos parámetros deben mantenerse dentro de rangos específicos para garantizar el éxito en la germinación. Por ejemplo, temperaturas óptimas entre 18 °C y 25 °C y humedades relativas entre 60 % y 80 % son comunes en cultivos controlados (Taiz, Zeiger, Møller, & Murphy, 2015). El control adecuado de estas variables es esencial para obtener plántulas sanas y uniformes.

Agricultura de Precisión. La agricultura de precisión se basa en el uso de datos, sensores y tecnologías digitales para optimizar los procesos de producción agrícola. Permite monitorear factores como temperatura, humedad del suelo, radiación solar y condiciones atmosféricas en tiempo real, facilitando la toma de decisiones (Gebbers & Adamchuk, 2010). Su aplicación en cámaras de germinación contribuye a mantener condiciones óptimas, minimizar pérdidas y mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y la energía (Zhang, Wang, & Wang, 2002).

Tecnologías Electrónicas para Agricultura. En la agricultura moderna se emplean múltiples dispositivos electrónicos para la captura y control de variables:

Sensores de Temperatura y Humedad. permiten medir el microclima en el interior de la cámara.

Actuadores Electrónicos. Como electroválvulas, resistencias de calor, ventiladores y sistemas de iluminación LED, que ajustan las condiciones ambientales.

Microcontroladores (Arduino, ESP8266, ESP32). Ejecutan algoritmos de control automático en tiempo real y se integran con sistemas de comunicación inalámbrica.

Sistemas de Comunicación Remota (IoT). Posibilitan la supervisión y gestión de los parámetros desde plataformas en la nube, brindando acceso a datos históricos y alertas en tiempo real.

Estas tecnologías permiten un control automatizado, reduciendo la intervención manual y mejorando la precisión del manejo ambiental en las cámaras de germinación.

El diseño de un prototipo electrónico involucra varias etapas:

Selección de componentes: Sensores (DHT11, DHT22), microcontroladores (ESP8266, ESP32) y actuadores adecuados para los requerimientos de potencia y precisión.

Diseño de Circuitos. Incorporación de reguladores de voltaje, optoacopladores y sistemas de protección para garantizar seguridad y confiabilidad.

Programación de Firmware. Desarrollo de algoritmos de control en lenguajes como C/C++ o entornos como Arduino IDE o Arduino Cloud.

Pruebas y validación: Simulación de escenarios, verificación de parámetros de humedad y temperatura, y ajustes en los ciclos de activación de actuadores.

Este proceso asegura la construcción de un prototipo funcional que pueda evolucionar hacia un sistema más robusto y escalable.

Estado del Arte

El diseño e implementación de sistemas inteligentes en la agricultura ha tomado gran relevancia en los últimos años. Por ejemplo, el estudio de (Alghamdi, Almotiri, & Khan, 2022) expone un sistema de agricultura hidropónica inteligente basado en inteligencia artificial y tecnologías IoT. La hidroponía, definida como la agricultura sin suelo, permite un menor consumo de agua y recursos frente a la agricultura tradicional. No obstante, su monitoreo resulta complejo debido al número de parámetros que deben controlarse simultáneamente, como nutrientes, condiciones de luz, turbidez, pH, temperatura y nivel de agua.

El sistema propuesto por los autores, denominado AI-SHES, integra sensores en tiempo real controlados por un procesador Raspberry Pi, junto con un modelo de red neuronal convolucional de aprendizaje profundo (DLCNN). Este modelo optimiza la predicción de niveles de nutrientes y la detección de enfermedades en las plantas. Además, los agricultores pueden supervisar las variables a través de una aplicación móvil conectada por IoT, lo cual garantiza un control continuo y automático del sistema hidropónico, incrementando la productividad. Los resultados de simulación muestran altos niveles de precisión, alcanzando un 99,29 % en la clasificación de enfermedades y un 99,23 % en la medida F (Alghamdi, Almotiri, & Khan, 2022)

Por otra parte, (Puteh, Mat Jizat, & Ismail, 2021) desarrollaron un Sistema Automatizado de Monitoreo de Germinación (GiMAmS), cuyo objetivo es mejorar el crecimiento de precisión de las plantas y optimizar el riego. Este sistema, basado en Arduino MEGA como controlador central, incorpora sensores de temperatura, humedad, luz, pH y presión, cuyos datos se almacenan en una plataforma en la nube. Uno de los factores críticos que regula el GiMAmS es el contenido de humedad en el suelo, ya que cuando esta baja del 70 % el sistema activa el riego hasta alcanzar valores superiores al 80 %. Los ensayos reportaron un incremento del 90,1 % de

humedad en el suelo tras la irrigación, con una varianza de 0,05167 y una desviación estándar de 0,2273, lo cual valida la efectividad del modelo propuesto. Este sistema no solo recopila datos en tiempo real, sino que también mejora la toma de decisiones en la gestión agrícola (Puteh, Mat Jizat, & Ismail, 2021).

En conclusión, el análisis del marco teórico permitió comprender los fundamentos biológicos de la germinación de semillas, donde la temperatura, la humedad y la luz se identifican como variables críticas para el éxito del proceso (Bewley, Bradford, Hilhorst, & Nonogaki, 2013). Asimismo, la agricultura de precisión surge como un enfoque innovador que aprovecha sensores, sistemas digitales y tecnologías de control para optimizar la producción agrícola (Gebbers & Adamchuk, 2010). A nivel técnico, se revisaron las tecnologías electrónicas aplicadas a la agricultura, destacando el papel de microcontroladores como Arduino y ESP8266, junto con sensores de temperatura y humedad y actuadores para regular las condiciones ambientales (Lee, y otros, 2015). Finalmente, se describieron las fases del desarrollo de prototipos electrónicos, que incluyen la selección de componentes, diseño de circuitos, programación y validación (Horowitz & Hill, 2015).

Por otra parte, la revisión del estado del arte evidencia que la aplicación de la inteligencia artificial y el IoT está transformando los sistemas agrícolas. (Alghamdi, Almotiri, & Khan, 2022) presentan un sistema de hidroponía inteligente que combina sensores en tiempo real con redes neuronales profundas para la predicción de nutrientes y la detección de enfermedades, alcanzando resultados altamente precisos. De igual manera, (Puteh, Mat Jizat, & Ismail, 2021) muestran la eficacia de sistemas automatizados para el monitoreo de humedad en el suelo durante la germinación, empleando plataformas basadas en Arduino e IoT que facilitan la toma de decisiones en la gestión agrícola.

En conjunto, estos aportes brindan un marco sólido para el desarrollo del presente proyecto, ya que demuestran la viabilidad y pertinencia de integrar sensores, microcontroladores, IoT y sistemas de control automático en entornos de germinación. Así, el prototipo propuesto busca aprovechar estas tecnologías para crear un sistema eficiente de monitoreo y regulación de temperatura y humedad en cámaras de germinación, contribuyendo al avance de la agricultura de precisión y garantizando condiciones óptimas para el desarrollo de las plántulas.

Metodología

El proyecto se enmarca en un estudio cuantitativo de tipo correlacional, ya que busca identificar la relación entre las condiciones ambientales (temperatura y humedad) y la germinación de semillas, a partir de la recolección y análisis de datos medibles obtenidos por sensores electrónicos.

El desarrollo metodológico se estructura en las siguientes fases, alineadas con los objetivos del proyecto:

Fase 1. Identificación y Selección de Componentes

Se realizará una investigación para identificar los componentes electrónicos adecuados para el diseño del prototipo de control, considerando los siguientes requisitos:

Precisión en las mediciones.

Durabilidad en condiciones de uso.

Compatibilidad con el sistema de control (microcontrolador y actuadores).

Disponibilidad en el mercado.

Costo accesible para el prototipo.

Fase 2. Diseño de la Interfaz de Usuario

Se desarrollará una interfaz de usuario intuitiva que permita monitorear y controlar las condiciones ambientales de la cámara de germinación de forma remota, utilizando tecnologías como aplicaciones web o móviles.

Fase 3. Desarrollo del Firmware

Se programará el firmware necesario para el funcionamiento del prototipo, incluyendo:

Algoritmos de control para regular la temperatura y la humedad.

Comunicación con sensores y actuadores.

Envío y almacenamiento de datos en la nube.

Fase 4. Recolección de Datos

Mediante sensores electrónicos se registrarán en tiempo real variables ambientales (temperatura y humedad) y la tasa de germinación de las semillas.

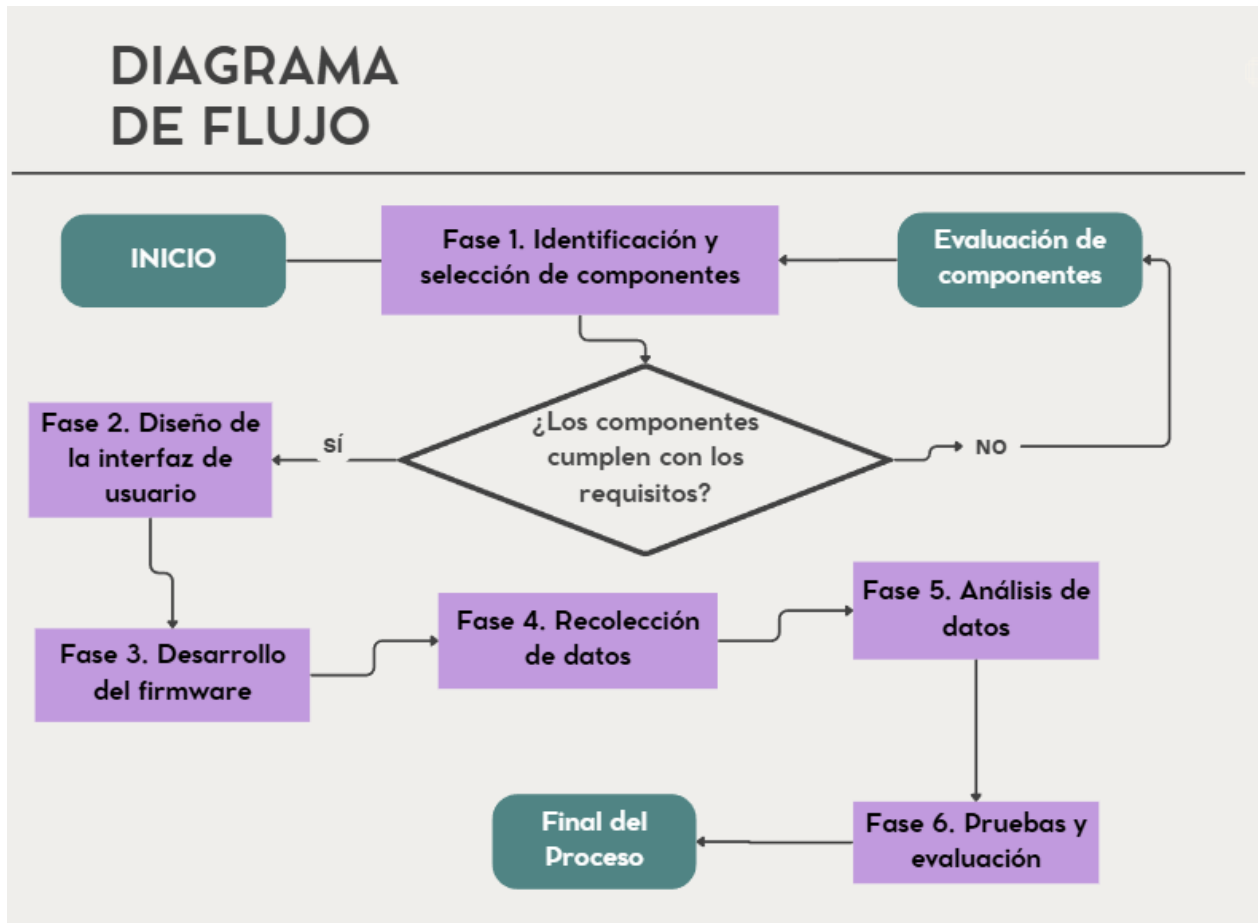
Fase 5. Análisis de Datos

Se aplicarán técnicas de análisis estadístico para identificar correlaciones entre las condiciones ambientales y la germinación. Además, se generarán informes que faciliten la interpretación de los resultados.

Fase 6. Pruebas y Evaluación

Se evaluará el funcionamiento del prototipo en distintos escenarios de uso y condiciones ambientales, verificando el cumplimiento de los requisitos establecidos. En caso de inconsistencias, se realizarán ajustes y optimizaciones.

Para tener una mejor perspectiva para el desarrollo del proyecto se elabora el siguiente diagrama de flujo **Figura 1** para poder seguir el proceso a detalle.

Figura 1*Diagrama de Flujo de la Metodología*

Nota. Autoría propia

<https://www.canva.com/design/DAGyUEwtw/q93n9RVaqZPJrhvmyM7hFw/edit>

Diseño y Planificación del Proyecto

El objetivo de las cámaras de germinación es proporcionar condiciones óptimas para el desarrollo de una semilla y el crecimiento inicial de plántulas, para ellos se requieren tener en cuenta ciertas variables para lograr con el éxito el desarrollo de la semilla según Virginia Tech. (sf). *Producción de plantas en ambientes controlados* se consideran las siguientes variables para tener en cuenta

Identificación de Variables

En el presente estudio, se identifican las variables críticas que influyen directamente en la germinación de semillas dentro de cámaras de control ambiental. La selección se fundamenta en la literatura científica y en la relevancia técnica de cada variable frente a otras posibles, priorizando aquellas con mayor impacto comprobado en el proceso de germinación.

Temperatura: La temperatura es uno de los factores ambientales más influyentes en la germinación, ya que regula la velocidad de las reacciones bioquímicas de la semilla (Bewley & Black, 1994). Se selecciona por encima de otras variables como el pH o la salinidad, debido a que su control directo en cámaras de germinación resulta más viable tecnológicamente y tiene efectos inmediatos en la tasa de germinación.

Humedad relativa: Mantener un nivel adecuado de humedad relativa es fundamental para activar los procesos metabólicos en la semilla (Taiz & Zeiger, Plant Physiology, 2010). A diferencia de la “humedad del sustrato” o la “condensación interna”, la humedad relativa es un parámetro más estable y medible mediante sensores, lo que facilita su control automático en el prototipo.

Ciclo de luz: La luz actúa como señal ambiental (fotoblastismo) para muchas especies, estimulando o inhibiendo la germinación (Baskin & Baskin, 2014). Se elige el ciclo de luz frente a otras variables como la radiación ultravioleta o la longitud de onda específica, ya que el objetivo es simular condiciones naturales de día y noche con un nivel de control técnico más sencillo y replicable.

Ventilación y flujo de aire: La circulación de aire previene la proliferación de hongos y garantiza un adecuado suministro de oxígeno y dióxido de carbono para la respiración celular de la semilla (Hartmann & Kester, 2011). Aunque variables como la concentración de CO₂ podrían medirse de forma directa, se opta por el flujo de aire como variable controlada por ser más práctica y directamente regulable con sistemas de ventilación simples.

En conclusión, se definen como variables ambientales principales: temperatura, humedad relativa, ciclo de luz y ventilación, al ser las que presentan mayor relevancia práctica y técnica en el proceso de germinación, y por ser las más adecuadas para ser controladas electrónicamente en el desarrollo del prototipo.

En la **Tabla 1** se identificarán los componentes que se van a usar como periféricos en base a las variables detectadas según el requerimiento para el proyecto, el tipo de conexión y a qué tipo de señal corresponde, con esta identificación se sabe que necesidades se van a tener en cuanto arquitectura del hardware.

Tabla 1*Identificación de Componentes y selección de conexión en entradas y salidas*

VARIABLES	Dispositivo	Referencias	Tipo de conexión	Tipo de señal
Control de Temperatura	Sensor de temperatura	DHT22 (alta precisión, ± 0.5 °C) / DS18B20 (sumergible, ideal en suelo o agua)	Análogo	Entrada
	Resistencias de calor	Resistencias calefactoras cerámicas 12/24V – 50W	PWM	Salida
Humedad	Sensor de humedad	DHT22 (humedad 0–100%, $\pm 2\%$)	Análogo	Entrada
Regulada	Electroválvula	Electroválvula 12/24V tipo 1/2" (ej. modelo 2W025-08)	Digital	Salida
Ciclo de Luz	Luz led	LED Grow Light 12/24V (espectro rojo-azul para germinación)	PWM	Salida
Ventilación y flujo de aire	Ventiladores	Ventilador DC Brushless 12/24V (ej. 120 mm, 0.25A)	Digital	Salida

Nota. Autoría propia.

Identificación de Componentes

El siguiente análisis de selección se hace para crear un entorno completamente automatizado que simula las condiciones naturales de las plantas, maximizando las tasas de germinación y minimizando los riesgos de fallos o enfermedades en las plántulas. Esta selección se hizo por su eficiencia, costo-beneficio y su adecuación al proyecto (ver **Tabla 2**) donde se combinaron optoacopladores, reguladores de voltaje y dispositivos de protección garantizando un funcionamiento seguro y estable, mientras que los sensores y actuadores seleccionados ofrecen un control preciso de las condiciones ambientales necesarias para la germinación de semillas.

Controlador

ESP12F: Es un microcontrolador compacto basado en el ESP8266, escogido por sus características vs a otros en el mercado como se indica en la **Tabla 2** este incluye conectividad Wi-Fi, lo que lo convierte en una excelente opción para proyectos de Internet de las Cosas (IoT). Este módulo tiene suficientes pines GPIO para controlar dispositivos externos, como sensores y actuadores, y es ideal para monitorear y ajustar parámetros en tiempo real mediante redes Wi-Fi. En comparación con otras opciones, como el ESP32, es más económico y menos complejo, pero sigue siendo potente y adecuado para tareas de automatización. Es excelente para proyectos en los que el tamaño reducido y la conectividad son críticos

Sensores

DHT22 (sensor de temperatura y humedad): Escogido por sus características vs a otros en el mercado como se indica en la **Tabla 2** Es un sensor digital que mide tanto la temperatura como la humedad. Su rango de medición y su bajo costo lo hacen una excelente opción en

comparación con otros sensores más avanzados, como el BME280, que sería una alternativa más costosa. El DHT22 tiene una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ para la temperatura y del $\pm 2-5\%$ para la humedad.

Salidas

Relés para control de cargas: Los relés son dispositivos electromecánicos que permiten controlar grandes cargas como calentadores, ventiladores y luces con voltajes y corrientes superiores a lo que los microcontroladores pueden manejar directamente. Los relés son una opción robusta y económica en comparación con los MOSFET o los relés de estado sólido (SSR), que son más eficientes, pero más costosos. Los relés son ideales para aplicaciones donde no es necesario un control de velocidad variable o de alta frecuencia.

Mosfet: Los mosfet son esenciales generalmente cuando se requieren más corriente de la que los pines GPIO pueden manejar. Un mosfet de tipo N, como el IRF540N, tiene una alta capacidad de corriente y bajo costo. En este proyecto, cumplen la función de interfaz de potencia, permitiendo que el microcontrolador (ESP8266/ESP12F) controle actuadores como resistencias calefactoras, ventiladores y luces LED sin sobrecargar sus salidas.

Reguladores y Protecciones

Optoacopladores: Los optoacopladores, como el PC817, son dispositivos que conectan eléctricamente la tarjeta de control del resto del sistema eléctrico. Son fundamentales en aplicaciones donde se quiere proteger los circuitos de control de picos de voltaje o interferencias eléctricas que podrían dañar el microcontrolador. En comparación con otros métodos de protección, los optoacopladores son más efectivos para evitar que los ruidos eléctricos ingresen al sistema de control.

Reguladores de voltaje (LM2596): Al alimentar la tarjeta de control con 24 voltios, es necesario reducir el voltaje a niveles adecuados para alimentar los componentes electrónicos como el ESP12F, que opera a 3.3V. El LM2596 es un regulador de voltaje de tipo "buck" que convierte eficientemente altos voltajes de entrada a niveles más bajos, disipa menos calor que los reguladores lineales (como el LM7805) y es ideal para alimentar circuitos sensibles sin desperdiciar energía.

Dispositivos de protección de entrada: Los diodos TVS (Transient Volt Suppression) y los PTC (Positive Temperature Coeficient) son dispositivos de protección contra sobretensiones y sobre corrientes. Los diodos TVS protegen los circuitos ante picos repentinos de voltaje, mientras que los PTC protegen contra sobre corrientes, actuando como fusibles que se autoajustan una vez que el problema ha sido solucionado. Estos dispositivos son más rápidos y eficientes que los fusibles tradicionales y ayudan a prolongar la vida útil de la tarjeta.

Tabla 2*Cuadro Comparativo Selección de Componentes*

Componentes	Ventajas de selección	Alternativas	Comparación
ESP12F	<p>Compacto y económico.</p> <p>Conectividad Wi-Fi integrada para monitoreo remoto.</p> <p>Bajo consumo de energía.</p>	ESP32, Arduino Uno	<p>El ESP12F es ideal para proyectos IoT pequeños. Aunque el ESP32 ofrece más GPIO y Bluetooth, el ESP12F es más económico. El Arduino Uno no tiene Wi-Fi, lo que limita la conectividad remota</p>
Sensor DHT22 (Temperatura/humedad)	<p>Bajo costo.</p> <p>Mide tanto la temperatura como la humedad.</p>	BME280, AM2302	<p>El BME280 es más preciso y soporta I2C, pero es más caro. El DHT22 es suficiente ofreciendo una relación costo-beneficio.</p> <p>El AM2302 es similar al DHT22, pero más caro, sin ventajas significativas en este caso</p>

Sensor LDR (sensor de luz)	<p>Sencillo y económico.</p> <p>Permite controlar el ciclo de luz de forma básica.</p>	BH1750	<p>El BH1750 es más preciso y permite una medición digital, pero el LDR es suficiente para encender y apagar luces según la iluminación necesaria. El LDR es más barato y fácil de implementar.</p>
Relés de control	<p>Económicos y robustos. Ideales para controlar cargas</p>	MOSFET, SSR	<p>Los MOSFET permiten un control más eficiente y preciso, pero añaden complejidad al diseño. Los SSR son silenciosos y rápidos, pero son más caros. Los relés tradicionales son más que suficientes y la implementación es más sencilla</p>
Optoacopladores (PC817)	<p>Aíslan eléctricamente los circuitos de control del resto del sistema.</p> <p>Protegen el microcontrolador de</p>	Transistores	<p>Aunque los transistores pueden funcionar, los optoacopladores son más efectivos para proteger el microcontrolador de interferencias eléctricas o picos de voltaje. El</p>

	ruidos y picos.		PC817 es una opción económica y confiable que facilita una mejor protección del sistema de control frente a cortocircuitos y ruidos.
Regulador de voltaje (LM2596)	Permite alimentar el circuito con 24V y reducir el voltaje a los 3.3V necesarios para el ESP12F y otros componentes.	LM7805, LM317	El LM2596 es más eficiente que los reguladores lineales como el LM7805 o el LM317, ya que disipa menos calor y es adecuado para proyectos que necesitan conversión de voltaje de 24V a niveles más bajos, como 3.3V o 5V.
Protección de entradas (diodos TVS, PTC)	Protege las entradas contra sobretensiones y sobre corrientes. Aumenta la durabilidad de la tarjeta.	Resistencias limitadoras, fusibles	Los diodos TVS y los PTC son más eficientes que los fusibles tradicionales, ya que los diodos reaccionan más rápido ante picos de voltaje, y los PTC se auto reajustan después de un sobrecalentamiento,

evitando la necesidad
de reemplazo

Nota. Autoría propia, Tabla comparativa lo que se busca vs por que se ajusta el componente y otras marcas.

Con la comparativa y la selección hecha de los componentes es crucial realizar el presupuesto ya que con ello se define el costo del proyecto y se determina si también va a tener viabilidad frente a otras opciones por eso en la **Tabla 3** se muestra el costo de cada gasto que se van a tener en servicios, materiales y recursos.

Presupuesto

El presupuesto de este proyecto se ha realiza con el objetivo de garantizar la viabilidad y eficiencia de la cámara de germinación, asegurando que cada componente seleccionado cumpla con los requisitos técnicos sin generar costos innecesarios. La automatización del sistema requiere una inversión en sensores, controladores y dispositivos de protección que permitan un monitoreo preciso de temperatura, humedad, luz y ventilación. Además, se incluyen materiales eléctricos y de fabricación para la integración del hardware, así como el uso de Arduino Cloud para la gestión remota. En la **Tabla 3** este presupuesto, busca optimizar recursos y asegurar un entorno de germinación estable y eficiente, maximizando la tasa de éxito en el desarrollo de la germinación de semillas.

Tabla 3*Presupuesto*

ítems	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Esp8266 Transistor Receptor Wi-Fi Esp-01s	1	\$ 9.900	\$ 9.900
2	Optoacoplador Pc817	4	\$ 5.600	\$ 22.400
3	Sensor Humedad Temperatura DHT22	1	\$ 14.800	\$ 14.800
4	Modulo Fotorresistencia Ky-018 Ky018	1	\$ 14.200	\$ 14.200
5	Resistencias de 1k ohmios	10	\$ 500	\$ 5.000
6	Condensador de 100 nf	10	\$ 620	\$ 6.200
7	Bornera 2 Pines	10	\$ 5.000	\$ 50.000
8	Interruptor Pulsador, Push Button	2	\$ 4.500	\$ 9.000
9	Fabricación de baquela	0,2	\$ 132.235	\$ 26.447
10	Arduino cloud	1	\$ 10.000	\$ 10.000
			\$ 197.355,00	\$ 167.947,00

Nota. Autoría propia, Tabla de presupuesto para conocer el costo del proyecto.

En resumen, la selección de los componentes para el prototipo de tarjeta de control para las cámaras de germinación es fundamental para garantizar un entorno de selección controlado y eficiente en el proceso de germinación de semillas. A través de la identificación de variables clave, como temperatura, humedad, luz y ventilación, se ha establecido una arquitectura de hardware óptima que permite un control preciso y automatizado.

El análisis comparativo de sensores, actuadores y dispositivos de protección ha permitido elegir los componentes más adecuados en términos de eficiencia, costo-beneficio y compatibilidad con el sistema basado en el ESP12F. Además, la inclusión de optoacopladores, reguladores de voltaje y protecciones adicionales asegura la estabilidad y seguridad del circuito, minimizando los riesgos operativos.

Finalmente, el presupuesto detallado proporciona una visión clara del costo del proyecto y su viabilidad económica, permitiendo evaluar su competitividad frente a otras soluciones disponibles en el mercado.

Implementación de la Interfaz de Usuario

Diseño de Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario en el proyecto de cámaras de germinación es fundamental para el éxito del sistema, ya que actúa como el puente entre el usuario y el hardware que controla las condiciones de germinación. Una interfaz de usuario bien diseñada permite que el usuario monitorice y ajuste, de forma intuitiva, parámetros clave como la temperatura y la humedad en tiempo real, asegurando que se mantengan dentro de los niveles óptimos para el crecimiento de las plantas.

Además, una buena interfaz ofrece la posibilidad de recibir alertas y notificaciones cuando ciertos valores se salen del rango deseado, facilitando una respuesta rápida para evitar posibles daños en el proceso de germinación. La implementación en Arduino Cloud, una plataforma en la nube diseñada específicamente para conectar dispositivos IoT y brindar interfaces accesibles de monitoreo y control desde cualquier dispositivo con conexión a Internet, (Arduino, 2024). Esto otorga flexibilidad y facilita la supervisión constante, incluso a distancia. Así, la interfaz de usuario no solo simplifica el manejo del sistema, sino que también maximiza la eficiencia del proceso de germinación y minimiza la necesidad de intervención física, lo que resulta en una operación más eficaz y confiable.

Conectar Dispositivo a Arduino Cloud

Para el desarrollo de la interfaz de usuario se seleccionó Arduino Cloud, debido a que ofrece una integración directa con placas como el ESP8266/ESP32, lo que facilita la conexión de sensores y actuadores al entorno IoT sin necesidad de configuraciones complejas. Esta plataforma permite crear dashboards interactivos de manera intuitiva, visualizar datos en tiempo real y controlar dispositivos de forma remota.

Si bien existen alternativas como Blynk, Node-RED, ThingsBoard o incluso servicios en la nube como Firebase, Arduino Cloud fue priorizado por tres razones principales:

Compatibilidad y simplicidad: a diferencia de otras soluciones que requieren configuraciones avanzadas de servidores o licencias, Arduino Cloud ofrece una interfaz lista para usar, compatible con el hardware seleccionado.

Menor curva de aprendizaje: al estar orientada a proyectos educativos y de prototipado rápido, reduce el tiempo de desarrollo en comparación con plataformas más complejas como Node-RED o ThingsBoard.

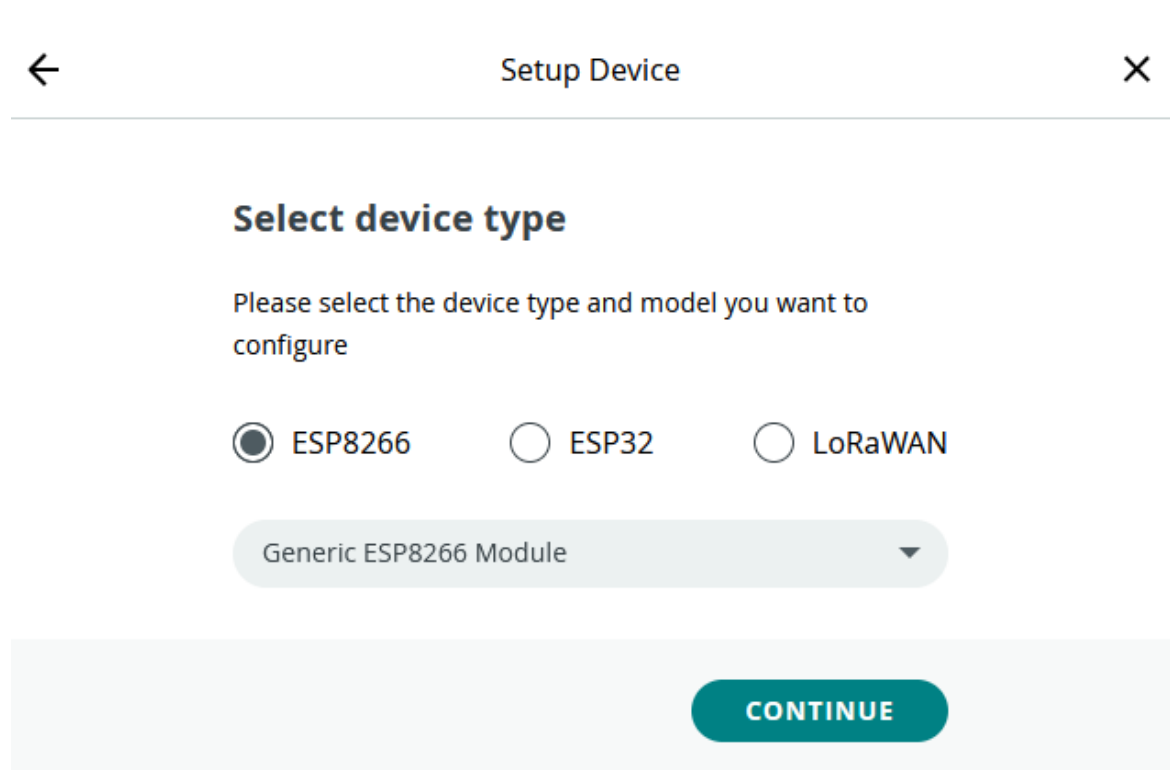
Integración nativa con Arduino IoT Remote: permite gestionar el sistema desde dispositivos móviles (Android/iOS) sin necesidad de programar una aplicación adicional.

En conclusión, la elección de Arduino Cloud responde a la necesidad de contar con una solución sencilla, confiable y escalable para el monitoreo y control remoto de las variables ambientales en la cámara de germinación, lo que facilita el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Para la creación de un dispositivo en Arduino Cloud se usa la opción de configurar un dispositivo de terceros y así usar el microcontrolador ESP12F como se muestra en la **Figura 2**. Se deberá ingresar tus credenciales de Wi-Fi para que el dispositivo pueda conectarse a Internet, Arduino Cloud generará un ID y una clave privada para autenticar tu dispositivo.

Figura 2

Selección de Dispositivo en Arduino Cloud



← Setup Device ×

Select device type

Please select the device type and model you want to configure

ESP8266 ESP32 LoRaWAN

Generic ESP8266 Module ▼

CONTINUE

Crear Variables Arduino Cloud

Antes de crear la variable se debe crear un “thing o cosa” a la cual le llamare cámara de germinación y dentro de ella agregaran las variables para nuestro diseño. A continuación, se muestra la declaración de variables de tanto entradas y salidas que llevara el prototipo de control las variables de entradas analógicas reciben los valores de los sensores de humedad y temperatura.

Variables Para los Sensores de Humedad y Temperatura 1

Nombre: HumedadTemperaturaSensor1

tipo de datos: Float

Permiso: Solo lectura

Variables Para los Sensores de Humedad y Temperatura 2

Nombre: HumedadTemperaturaSensor2

Tipo de datos: Float

Permiso: Solo lectura.

Las salidas PWM permiten un control de intensidad para una resistencia de calor y una luz LED.

Variable para Resistencia de Calor

Nombre: resistenciaCalor

Tipo de datos: Int

permiso: Lectura y escritura, rango: 0 - 255 (Para el control PWM, donde 0 está apagado y 255 es potencia máxima).

Variable para Luz LED

Nombre: luzLed,

Tipo de datos: Int

permiso: Lectura y escritura

Rango: 0 - 255(Para el control PWM, donde 0 está apagado y 255 es potencia máxima).

Las salidas digitales permitirán el control de encendido/apagado de la electroválvula y los ventiladores.

Variable Para Electroválvula

Nombre: Electroválvula,

tipo de datos: Boolean,

Permiso: Lectura y escritura

Estado: true o false

Variable Para Ventiladores

Nombre: ventiladores,

Tipo de datos: Boolean

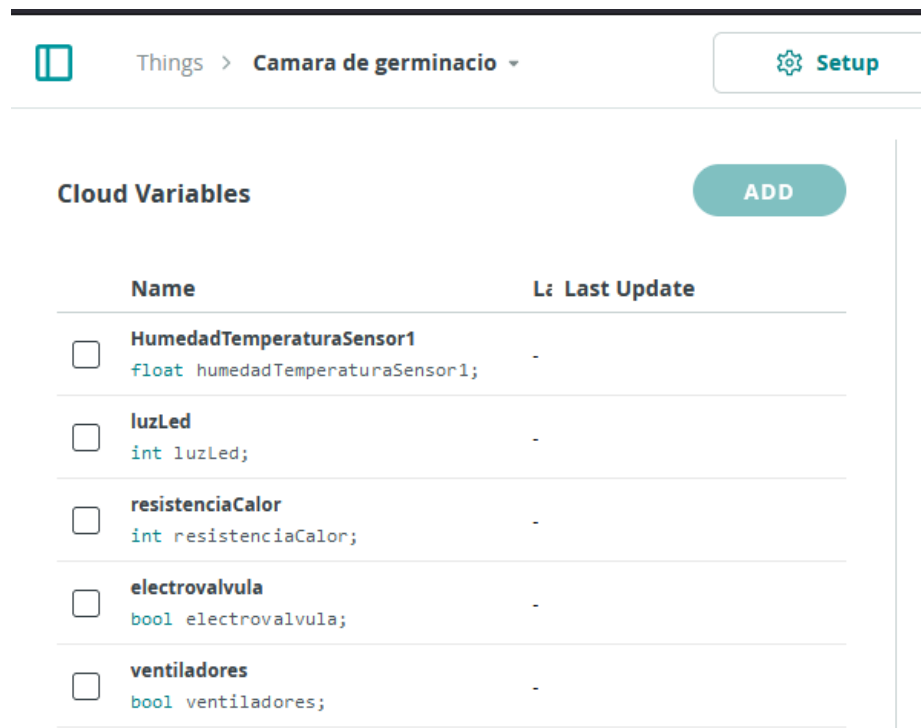
Permiso: Lectura y escritura

Estado: true o false.

En la **Figura 3** se visualiza las variables creadas en iCloud con su respectivo nombre, tipo de dato y nombre con el cual se va a declarar durante la programación, una vez hecho este paso se procede con la creación del dashboard y código de programación.

Figura 3

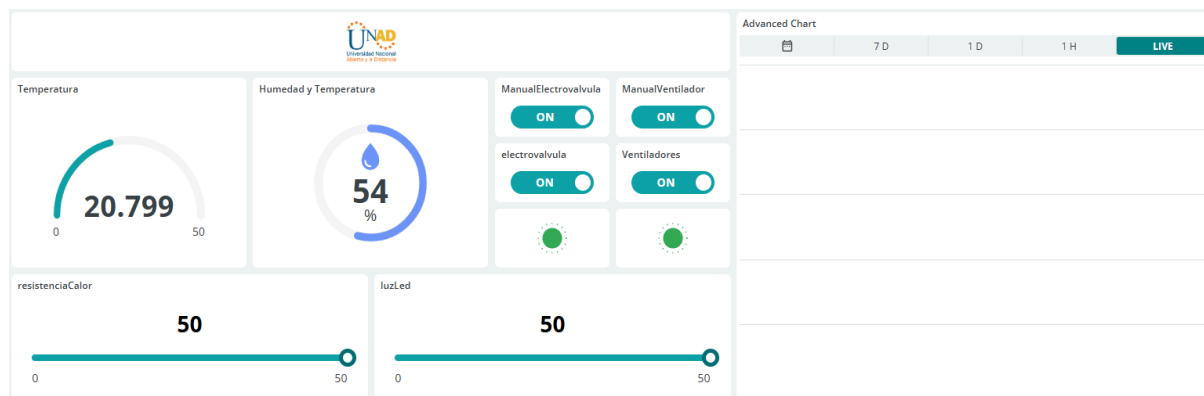
Creación de iCloud variables



Ya creadas las variables se procede con la creación del dashboard acá se visualizar en tiempo real la humedad y temperatura, rango de operación de las resistencias y el led, el estado On / Off de ventiladores y electroválvulas, adicional se agrega una gráfica para evaluar el comportamiento del sistema. En las **Figura 4** se visualiza un dashboard con datos de ejemplo para poder tener una noción de cómo se va la información y en la **Figura 5** se visualiza el dashboard con la conexión de cada una de las variables que se crearon en iCloud.

Figura 4

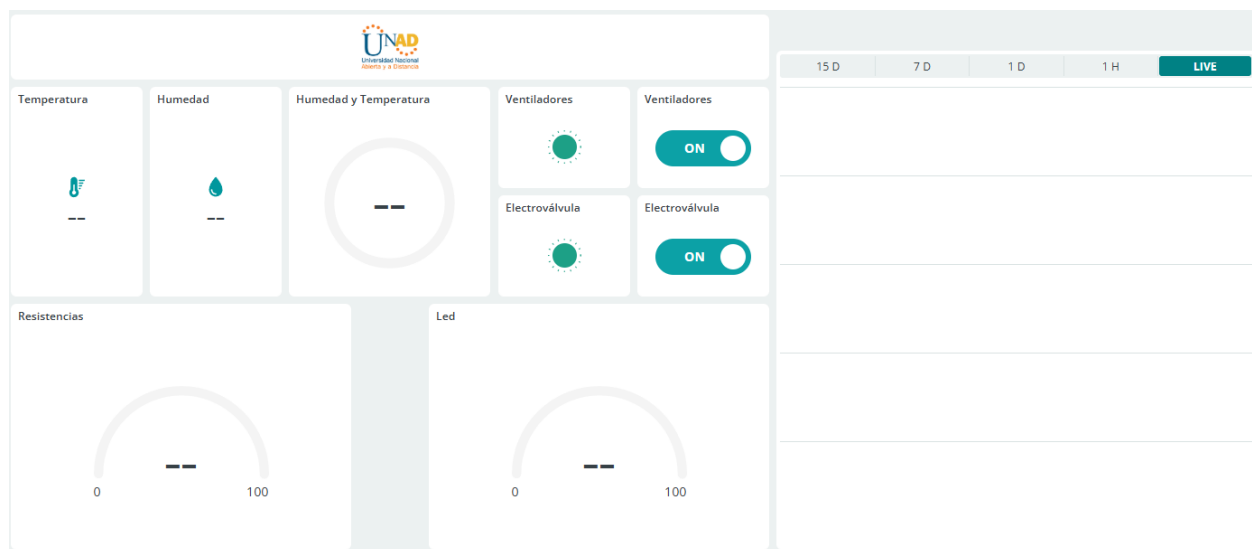
Creación de Dashboard



Nota. Dashboard con ejemplos de visualización

Figura 5

Dashboard con variables



Nota. Dashboard con variables conectados a cada gadget

El diseño de la interfaz de usuario mediante Arduino Cloud constituye un elemento esencial en el desarrollo del prototipo de control electrónico para cámaras de germinación. Su aporte principal radica en que permite la visualización en tiempo real de las variables

ambientales críticas (temperatura y humedad), el control remoto de los actuadores (resistencias, ventiladores, electroválvula y luz LED), así como la automatización de procesos a través de dashboards interactivos y personalizables. De esta manera, el usuario puede supervisar y ajustar el sistema de forma sencilla, reduciendo la intervención manual y asegurando un ambiente estable y confiable para la germinación de semillas. En síntesis, este capítulo aporta al proyecto un mecanismo de interacción eficiente, intuitivo y escalable, que conecta directamente al usuario con el hardware de control, garantizando el cumplimiento de los objetivos planteados.

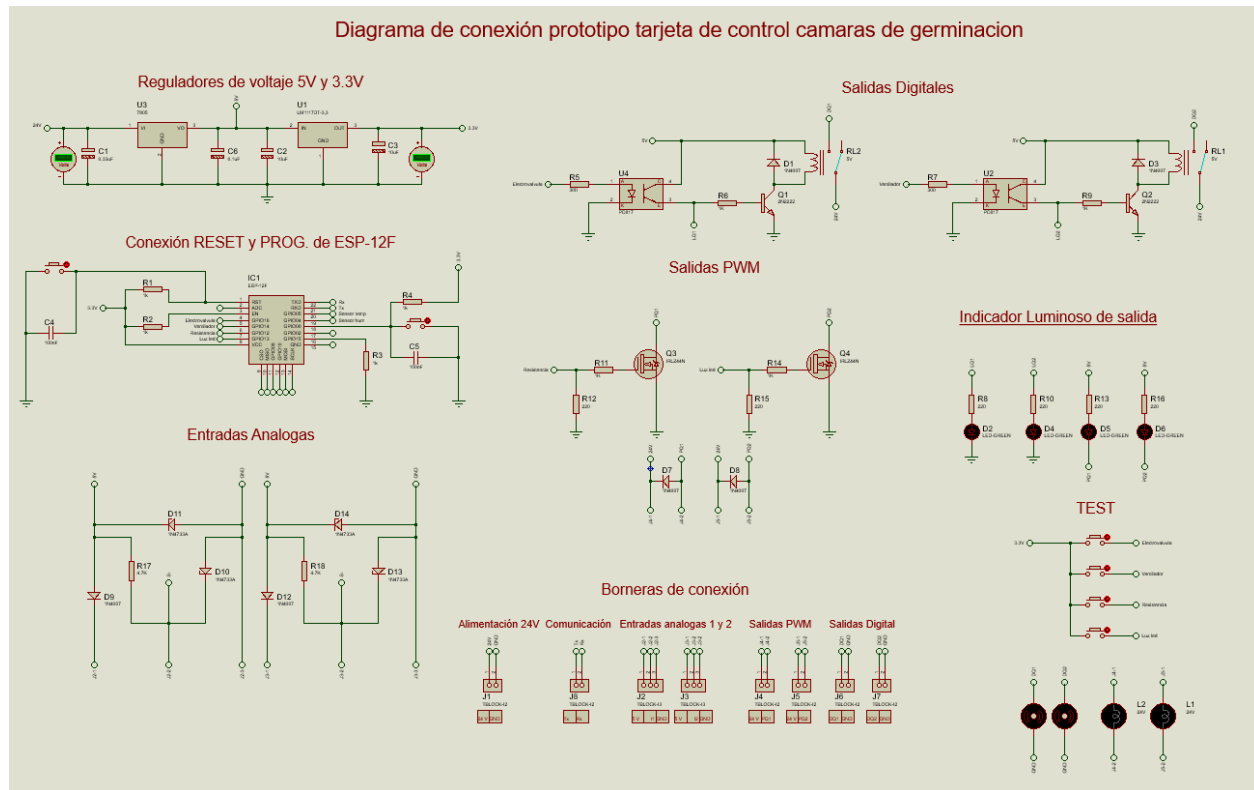
Desarrollo del Firmware y Circuitos Electrónicos

Desarrollo del Firmware

Entendiendo las variables que vamos a manejar se desarrolla el firmware de la tarjeta de control donde se incluye una fuente de alimentación regulada a 5V y 3.3V, diseñada para alimentar el microcontrolador y otros componentes sensibles. El ESP12F actúa como el controlador principal, con circuitos de programación y reinicio. Para la lectura de los sensores de temperatura y humedad, se incorporan entradas analógicas con protección mediante diodos, las salidas digitales controlan dispositivos de mayor potencia, como la electroválvula y los ventiladores, a través de relevadores y transistores, mientras que las salidas PWM regulan la potencia para la resistencia de calor y la iluminación LED. Además, se incluyen indicadores luminosos para validar el correcto funcionamiento de cada componente.

Figura 6

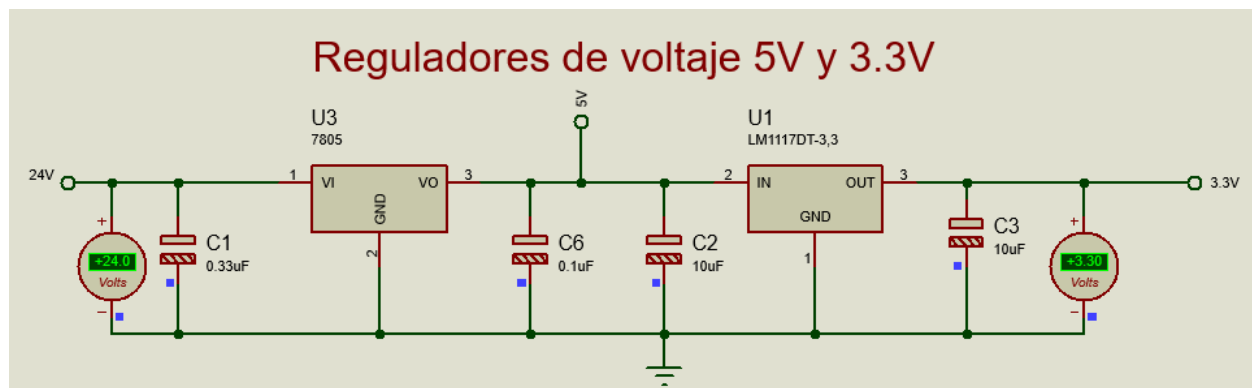
Esquemático Tarjeta de Control



En la **Figura 6** se muestra el diagrama de conexión del prototipo de tarjeta de control para cámaras de germinación el cual se construyó por etapas que se mostrarán a continuación.

Figura 7

Alimentación y Regulación de Voltaje del Circuito



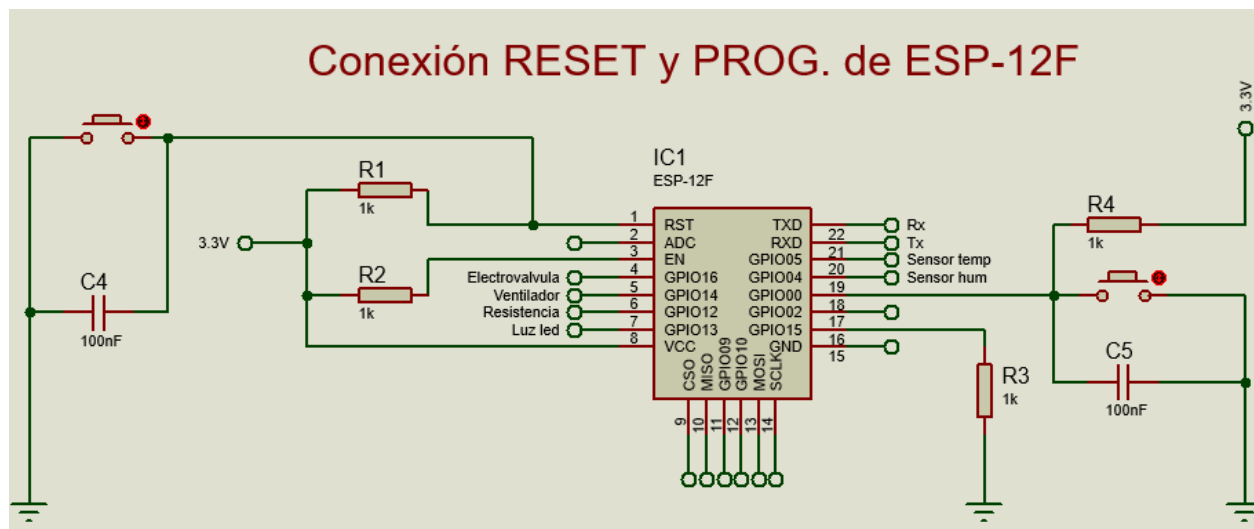
La alimentación está diseñada para suministrar voltajes estables y seguros a los componentes del circuito. El sistema convierte una entrada de 24V en dos salidas reguladas de 5V y 3.3V mediante reguladores de voltaje lineales, junto con condensadores de filtrado que ayudan a estabilizar la señal y reducir el ruido.

El regulador 7805 toma la entrada de 24V y la convierte en una salida estable de 5V. Para optimizar el funcionamiento se han añadido dos condensadores C1 ($0.33\mu\text{F}$) en la entrada ayuda a filtrar cualquier ruido proveniente de la fuente de alimentación de 24V y el C6 ($0.1\mu\text{F}$) en la salida estabiliza la señal de 5V, proporcionando una corriente continua más limpia.

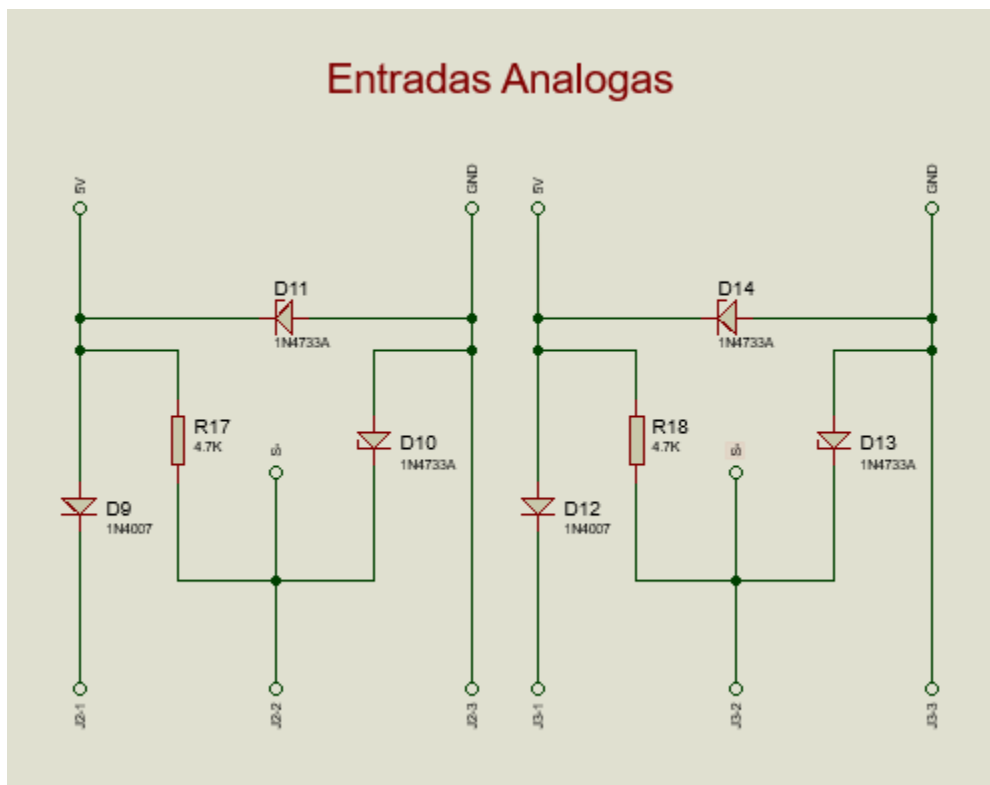
El regulador LM1117T-3.3 toma la salida de 5V y la convierte en 3.3V, que es necesario para algunos componentes de bajo voltaje. En este caso, también se incluyen condensadores de filtrado el C2 ($10\mu\text{F}$) en la entrada ayuda a suavizar cualquier fluctuación de la señal de 5V y el C3 ($10\mu\text{F}$) en la salida estabiliza el voltaje de 3.3V, asegurando que sea constante y adecuado para los componentes conectados.

Figura 8

Conexión RESET y PROG. de ESP-12F



El módulo ESP12F es el cerebro de la tarjeta, configurado con circuitos de programación y reinicio para facilitar su control. Este módulo recibe entradas analógicas de sensores de temperatura y humedad, y salidas digitales y PWM.

Figura 9*Entradas Análogas*

El diseño de las entradas analógicas en este circuito muestra una configuración cuidadosa de componentes de protección, diseñada para asegurar la estabilidad y seguridad de las señales antes de su procesamiento por el microcontrolador.

Diodos Zener (D11 y D14). Los diodos Zener (1N4733A) están implementados para limitar el voltaje de las entradas analógicas, protegiendo al sistema contra sobrevoltajes. Estos diodos mantienen el voltaje dentro de un rango seguro, en este caso alrededor de 5.1V, evitando así daños en el microcontrolador.

Resistencias de pull-down (R17 y R18). Las resistencias de 4.7k Ω funcionan como resistencias de pull-down, estabilizando la señal analógica y reduciendo las fluctuaciones cuando

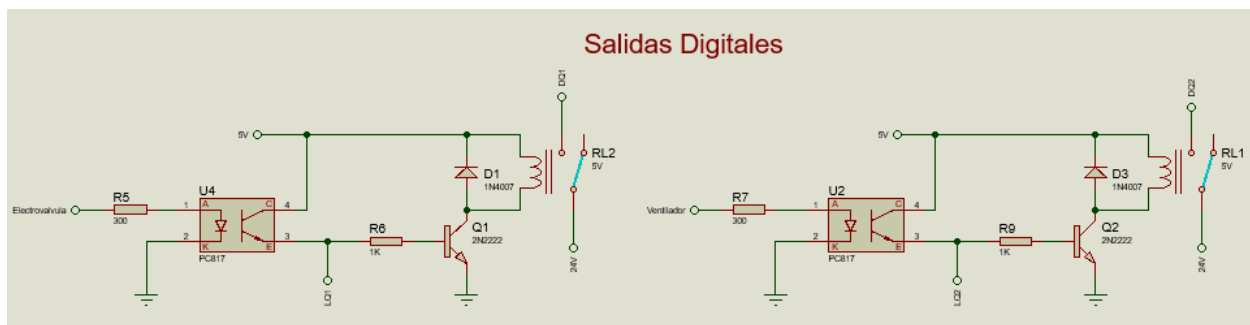
la entrada está en reposo. Esto contribuye a una lectura más precisa y estable de las señales de los sensores.

Diodos de Protección (D9, D10, D12 y D13). Los diodos de protección (1N4007 y otros diodos Zener 1N4733A) actúan como salvaguardas contra polaridades inversas y sobre corrientes. En caso de un error de conexión o de un pico de voltaje inesperado, estos diodos desvían la corriente, protegiendo el circuito.

Aislamiento y Filtrado. La combinación de diodos y resistencias también contribuye a un filtrado de la señal de entrada, reduciendo el ruido y garantizando que el microcontrolador reciba una señal lo más limpia y precisa posible.

Figura 10

Salidas Digitales



Las salidas digitales del sistema permiten controlar dispositivos de mayor potencia, como una electroválvula y ventiladores, mediante el uso de relevadores y transistores, los cuales se activan de acuerdo con las condiciones de temperatura y humedad requeridas.

En la sección de salidas digitales del circuito, se presenta un diseño que permite el control de dispositivos de alta potencia, como una electroválvula y ventiladores, mediante el uso de transistores NPN y relevadores. Este diseño está pensado para que el microcontrolador ESP12F

pueda activar y desactivar estos dispositivos de forma segura, sin comprometer sus pines de salida.

Control Mediante Transistores NPN. Cada salida digital del ESP12F se conecta a la base de un transistor NPN (como el 2N2222) a través de una resistencia limitadora de corriente. Este transistor actúa como un interruptor que controla la activación del elevador correspondiente. La resistencia de base está calculada para asegurar que el transistor entre en saturación, permitiendo una conducción eficiente de la corriente hacia la bobina del elevador.

Relevadores (Relés). Los relevadores utilizados permiten manejar las cargas de alta potencia asociadas a la electroválvula y los ventiladores, aislando al microcontrolador de estos dispositivos. Cuando el transistor se activa, la corriente fluye a través de la bobina del elevador, cerrando el circuito y permitiendo que el dispositivo conectado funcione.

Diodos de Protección (Diodos Flyback). Para proteger el transistor de los picos de voltaje generados por la bobina del relevador al desactivarse, se incluye un diodo de protección (como el 1N4007) en paralelo con la bobina. Este diodo proporciona un camino para la corriente inducida en la bobina, evitando que el voltaje inverso dañe el transistor. Esta protección es esencial en circuitos con cargas inductivas, como relevadores.

Aislamiento y Seguridad. La configuración con relevadores proporciona aislamiento galvánico entre el circuito de control de baja potencia y el circuito de carga de alta potencia. Esto asegura que el ESP12F no se ve afectado por el funcionamiento de dispositivos de mayor corriente, lo que aumenta la seguridad y confiabilidad del sistema.

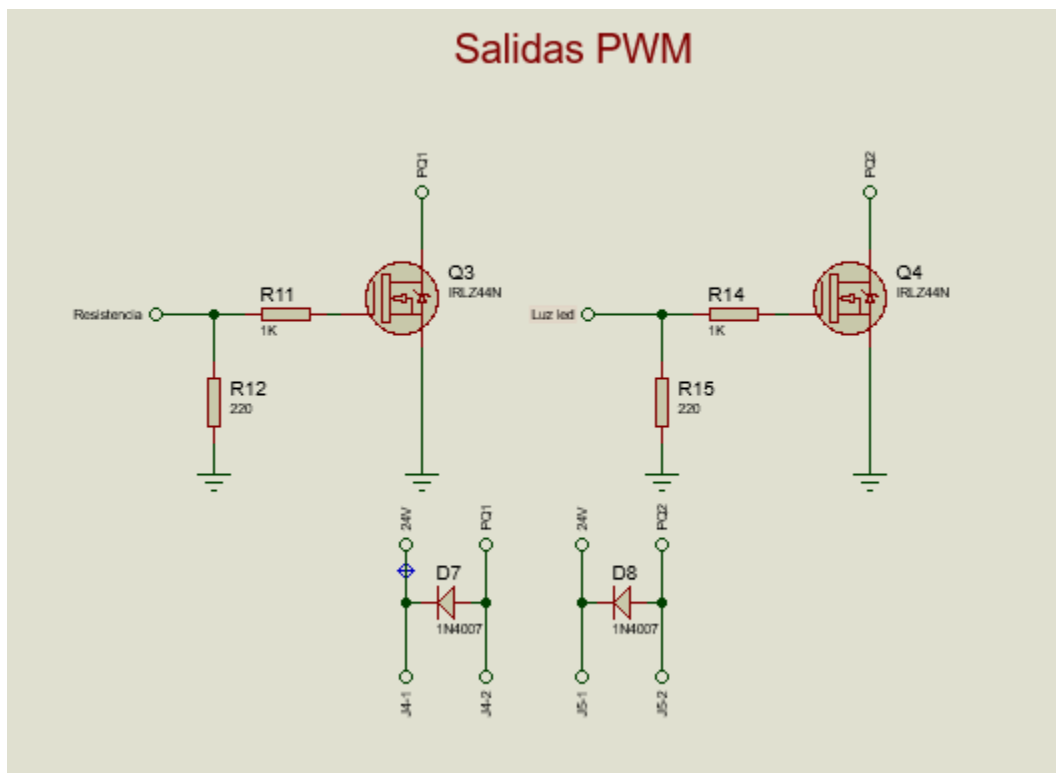
Indicadores LED (Opcional). Como opción, el diseño podría incluir indicadores LED en paralelo con las cargas, mostrando visualmente el estado de cada salida. Esto permitiría al

usuario verificar de un vistazo si la electroválvula o los ventiladores están activos, aumentando la facilidad de monitoreo y control.

Este diseño de las salidas digitales está pensado para maximizar la eficiencia y la seguridad, permitiendo que el ESP12F controle dispositivos de mayor potencia de manera segura y efectiva. Los transistores NPN, relevadores y diodos de protección aseguran que las cargas sean manejadas sin riesgo de daño para el microcontrolador, lo que contribuye a la estabilidad y durabilidad del sistema en la cámara de germinación.

Figura 11

Salidas PWM



Por otro lado, las salidas PWM regulan la potencia para una resistencia de calor y una luz LED, permitiendo ajustes precisos en la intensidad para optimizar el ambiente de la cámara de germinación.

En la sección de salidas PWM del circuito, se presenta un diseño que permite el control de dispositivos como una resistencia de calor y una luz LED mediante señales PWM (Modulación por Ancho de Pulso). Este tipo de control permite regular la potencia entregada a cada dispositivo, proporcionando un ajuste preciso de la intensidad o el calor según las necesidades del sistema.

Transistores MOSFET (Q3 y Q4). Se utilizan transistores MOSFET de canal N (IRLZ44N) para controlar cada salida PWM. Estos MOSFET están conectados en configuración de conmutación y son controlados directamente por los pines PWM del microcontrolador. La elección de MOSFET permite manejar mayores corrientes sin sobrecargar el ESP12F, ya que estos dispositivos son eficientes y tienen una baja resistencia cuando están en saturación.

Resistencias de Puerta (R11, R12, R14 y R15). Cada MOSFET incluye una resistencia de puerta ($1k\Omega$) para limitar la corriente de entrada y proteger el microcontrolador. Además, resistencias adicionales de 220Ω en la señal PWM ayudan a amortiguar posibles oscilaciones y asegurar que los MOSFET cambien de estado de manera eficiente y sin interferencias.

Diodos de Protección (D7 y D8). En paralelo con cada carga, se han colocado diodos de protección (1N4007) en polaridad inversa. Estos diodos protegen los MOSFET de los picos de voltaje generados por la desconexión repentina de la carga inductiva, absorbiendo la energía y previniendo que el voltaje inverso dañe los transistores. Este voltaje inducido se desvía a través del diodo de protección, evitando daños en el circuito.

Control de Potencia Mediante PWM. La señal PWM enviada desde el microcontrolador permite ajustar la potencia de cada dispositivo controlado. Al variar el ciclo de trabajo de la señal PWM, el sistema puede aumentar o reducir la intensidad de la luz LED o el calor generado por la resistencia, optimizando el ambiente en la cámara de germinación de acuerdo con los valores requeridos. Este diseño de salidas PWM proporciona un control flexible y eficiente sobre dispositivos de alta potencia, permitiendo una regulación precisa de los parámetros necesarios para el sistema. La combinación de MOSFET, resistencias de puerta y diodos de protección garantiza la seguridad y estabilidad del circuito, asegurando que el ESP12F pueda controlar estos dispositivos de manera confiable y segura.

Recolección y Gestión de Datos

Recolección de Datos

Como se indicó en el capítulo anterior Conectar dispositivo a Arduino Cloud La plataforma Arduino Cloud, fundamental para la gestión remota de sistemas IoT como nuestra cámara de germinación de semillas, no solo facilita la visualización en tiempo real de los parámetros ambientales, sino que también ofrece una funcionalidad robusta para la recolección y posterior descarga de datos históricos. Este proceso es vital para el análisis de tendencias, la optimización de los algoritmos de control y la validación de la eficiencia del prototipo en la mejora de las tasas de germinación.

El flujo de trabajo para la descarga de datos se inicia una vez que el microcontrolador ESP12F ha estado operando y transmitiendo continuamente las lecturas de sus sensores temperatura, humedad, y niveles de luz, así como los estados de activación de los actuadores resistencia de calor, iluminación LED, electroválvula de riego y ventiladores. Toda esta información es encapsulada y enviada a la nube a intervalos regulares que son cada 15 segundos por variable en el plan gratuito, donde Arduino Cloud se encarga de su almacenamiento para cada una de las variables definidas en el dispositivo creado Cámara de Germinación

Para acceder y descargar de datos, se debe ingresar a la plataforma web de Arduino Cloud, Una vez dentro de la plataforma, se direcciona a la opción administración de los dispositivos y se abre una vista detallada que presenta sus características, configuración y, crucialmente, el historial de sus variables.

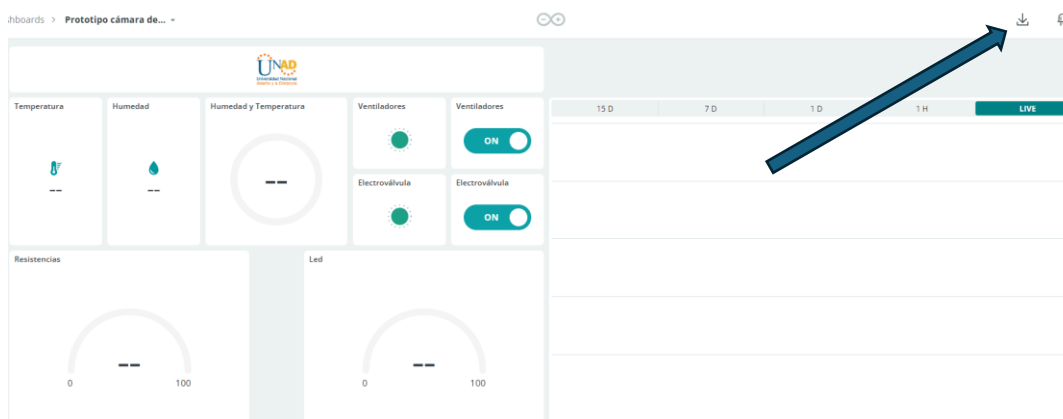
Acceso al Historial de Datos de las Variables

Dentro de la vista detallada del "dashboard", Arduino Cloud organiza las variables en una sección que permite visualizar sus valores actuales y su comportamiento a lo largo del tiempo.

Esta sección incluye gráficos interactivos que muestran las tendencias de las variables como la temperatura y la humedad. Es aquí donde se encuentra la funcionalidad para la exportación de datos históricos.

Figura 12

Ubicación de Descarga de Datos



Configuración de la Exportación de Datos

Antes de proceder con la descarga, se tendrá la opción de especificar el rango de tiempo para el cual desea obtener los datos. Esto puede ser un período predefinido últimas 24 horas, última semana, etc. o un rango de fechas personalizado, lo que permite una granularidad precisa en la selección de los datos a analizar.

Generación y Descarga del Archivo CSV. Una vez configurado el rango de tiempo y las variables, se debe buscar la opción o botón de "Exportar", "Descargar Datos". Al activar esta función, Arduino Cloud procesa la solicitud, compila los datos históricos de las variables seleccionadas y genera un archivo en formato CSV (Comma Separated Values). Este formato es universalmente compatible y puede ser abierto y manipulado fácilmente con software de hojas de cálculo.

Figura 13*Selección Variables de Descarga*

The screenshot shows a window titled "Download historic data" with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar, there is a search bar labeled "Search Variables" and a dropdown menu currently set to "All things". The main content is a table with two columns: "Cloud Variable" and "Type". Each row in the table has a green checkmark in the first column, indicating that all variables are selected. The variables listed are: HumedadTemperaturaSensor1 (Float, Read-Only), electrovalvula (Boolean, Read/Write), luzLed (Int, Read/Write), resistenciaCalor (Int, Read/Write), and ventiladores (Boolean, Read/Write). All variables are associated with the "Camara de germinacion" location.

<input checked="" type="checkbox"/> Cloud Variable	Type
<input checked="" type="checkbox"/> HumedadTemperaturaSensor1 Camara de germinacion	Float Read-Only
<input checked="" type="checkbox"/> electrovalvula Camara de germinacion	Boolean Read/Write
<input checked="" type="checkbox"/> luzLed Camara de germinacion	Int Read/Write
<input checked="" type="checkbox"/> resistenciaCalor Camara de germinacion	Int Read/Write
<input checked="" type="checkbox"/> ventiladores Camara de germinacion	Boolean Read/Write

La implementación de Arduino Cloud como herramienta de recolección y gestión de datos constituye un aporte fundamental dentro del proyecto, al proporcionar un medio confiable para el almacenamiento, visualización y descarga de información histórica de las variables críticas de la cámara de germinación. Este proceso no solo permite validar el desempeño del prototipo mediante el análisis de tendencias y la comparación con los parámetros ideales establecidos, sino que además fortalece la capacidad de optimización continua del sistema. En consecuencia, este capítulo contribuye al cumplimiento de los objetivos del proyecto al consolidar una base metodológica sólida para la supervisión y evaluación del comportamiento de los factores ambientales que inciden en la germinación de semillas.

Análisis de los Resultados de las Pruebas

Análisis de Datos

Ahora la necesidad es comprender la información que capte el prototipo de control. Una vez se descarguen los datos se verá algo así como se muestra en la **Figura 14**. para este ejercicio se simularon los datos para graficar la información, con esto se garantiza que a lo largo del tiempo los valores se mantengan en los rangos establecidos evitando errores que representarían pérdidas en un sistema que este en producción.

Para efectos de este ejercicio, los datos fueron simulados en Microsoft Excel, reproduciendo el mismo formato que se obtiene al exportar la información desde Arduino Cloud en archivo CSV Esta simulación de datos se establece para una siembra de lechuga que requiere condiciones de temperatura entre 18°C y 20°C y humedad relativa de 60 y 80 % , ciclos de iluminación de 30 minutos en ON y 30 minutos en OFF y tener ciclos de iluminación de 16 horas. De esta forma, se asegura la validez del análisis preliminar y se documenta la metodología utilizada para representar el comportamiento esperado del sistema antes de la implementación en campo.

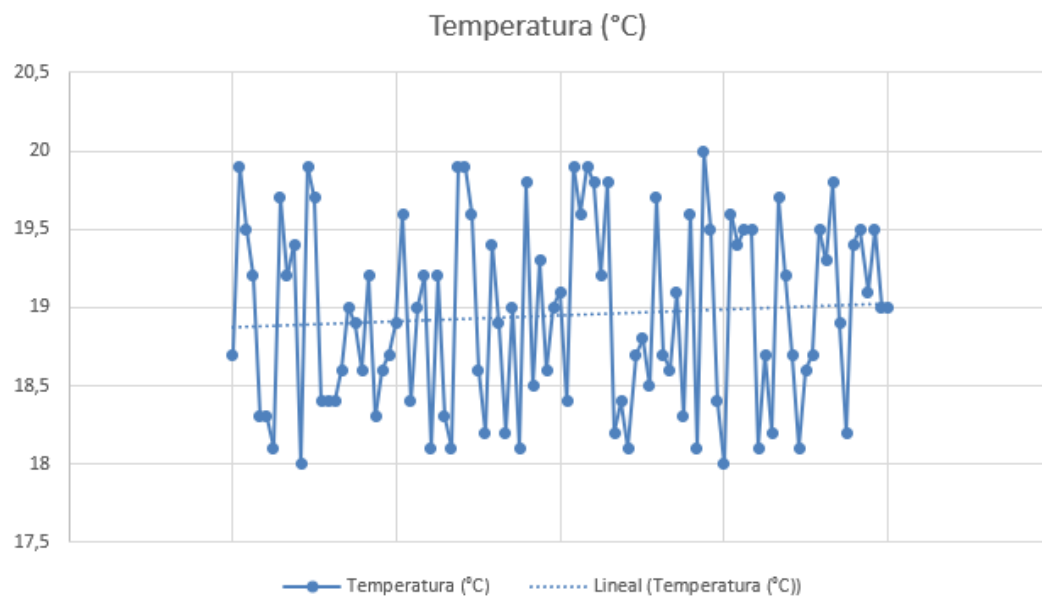
Figura 14

Ejemplo de Lectura de Datos Descarga Arduino cloud

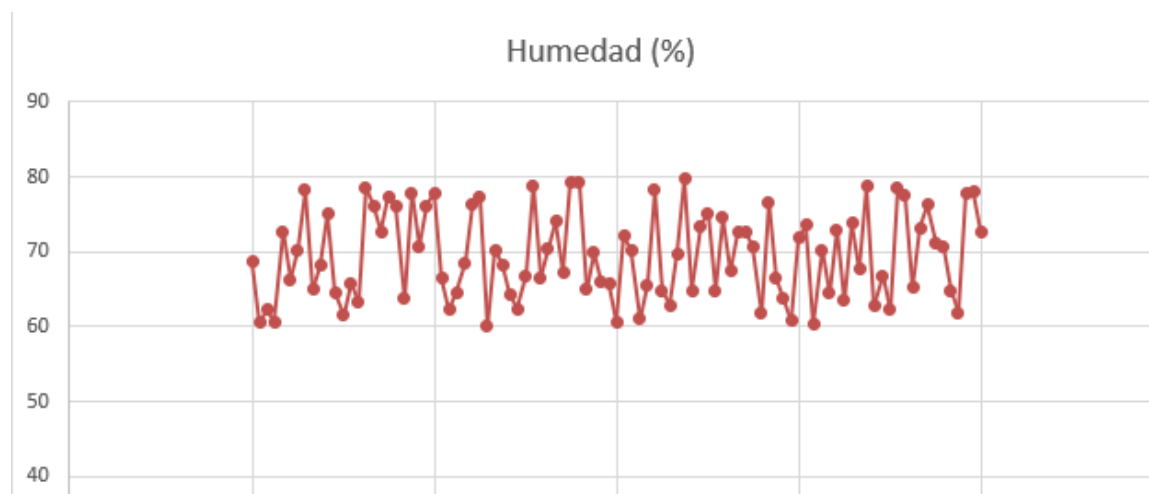
A	B	C	D	E	F	G
Fecha y Hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Electroválvula	Resistencias	Ventiladores	Luz LED
2025-06-01 00:00:00	18,7	68,6	OFF	OFF	ON	OFF
2025-06-01 00:30:00	19,9	60,5	ON	OFF	OFF	OFF
2025-06-01 01:00:00	19,5	62,2	ON	OFF	ON	OFF
2025-06-01 01:30:00	19,2	60,6	ON	OFF	OFF	OFF
2025-06-01 02:00:00	18,3	72,7	OFF	ON	ON	OFF
2025-06-01 02:30:00	18,3	66,3	OFF	ON	OFF	OFF
2025-06-01 03:00:00	18,1	70,2	OFF	ON	ON	OFF
2025-06-01 03:30:00	19,7	78,2	OFF	OFF	OFF	OFF
2025-06-01 04:00:00	19,2	65	OFF	OFF	ON	OFF
2025-06-01 04:30:00	19,4	68,2	OFF	OFF	OFF	OFF
2025-06-01 05:00:00	18	75,1	OFF	ON	ON	OFF
2025-06-01 05:30:00	19,9	64,6	ON	OFF	OFF	OFF
2025-06-01 06:00:00	19,7	61,5	ON	OFF	ON	ON
2025-06-01 06:30:00	18,4	65,8	OFF	ON	OFF	ON
2025-06-01 07:00:00	18,4	63,2	ON	ON	ON	ON
2025-06-01 07:30:00	18,4	78,6	OFF	ON	OFF	ON
2025-06-01 08:00:00	18,6	76,2	OFF	OFF	ON	ON
2025-06-01 08:30:00	19	72,7	OFF	OFF	OFF	ON
2025-06-01 09:00:00	18,9	77,4	OFF	OFF	ON	ON
2025-06-01 09:30:00	18,6	76,1	OFF	OFF	OFF	ON
2025-06-01 10:00:00	19,2	63,7	ON	OFF	ON	ON

Nota. Simulación de datos descargados desde Arduino cloud.

Con los datos ya descargados lo primero es graficar en cómo se comporta la temperatura para saber si se tienen que hacer correcciones en el sistema. El tiempo de recopilación de datos es desde 2025-06-01 00:00:00 hasta 2025-06-03 00:00:00 es decir 2 días de lectura.

Figura 15*Grafica Simulada de Temperatura*

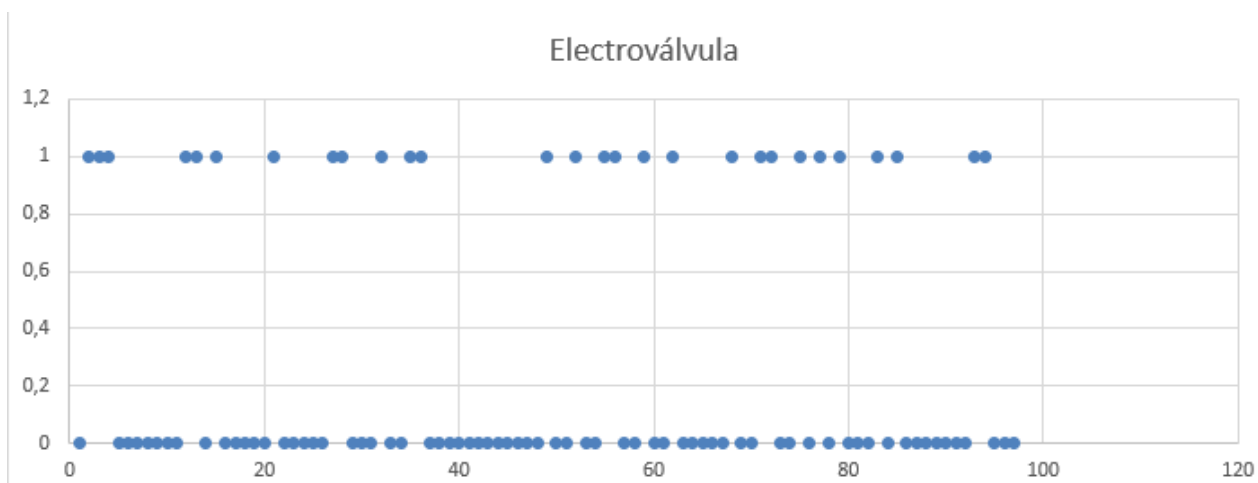
En la **Figura 15** se visualizan los datos establecidos en un periodo de tiempo en donde la temperatura está en el rango establecido con un promedio de 18.9°C

Figura 16*Grafica Simulada de Humedad*

En la **Figura 16** se visualiza la gráfica de humedad donde muestra que está dentro del rango seleccionado con un promedio de 69.5%

Figura 17

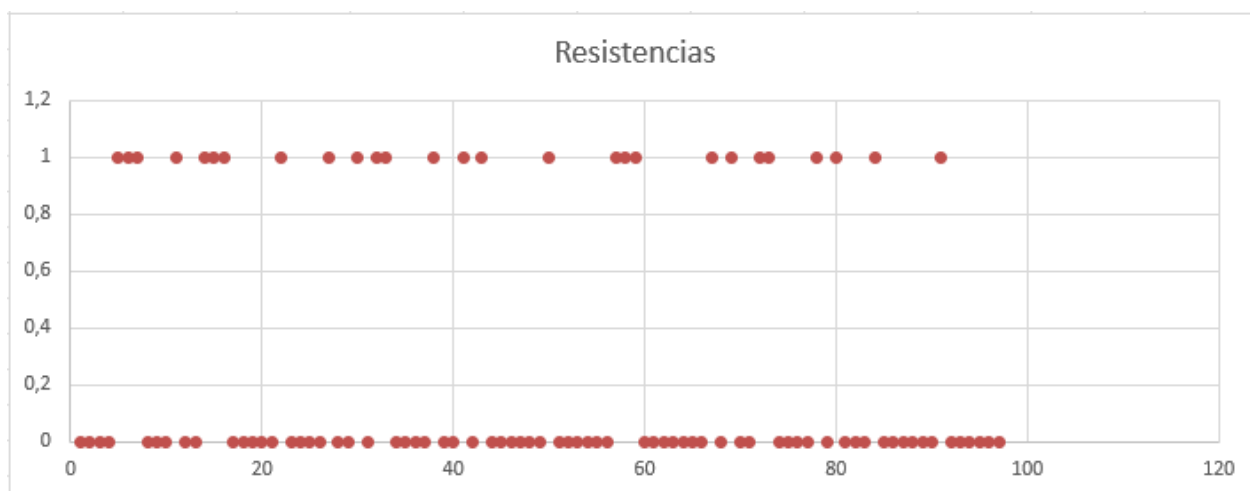
Grafica Simulado Estado ON/OFF Electroválvula



En la **Figura 17** donde 1 es encendido y 0 apagado, la electroválvula encendió 28 veces para poder mantener la humedad requerida.

Figura 18

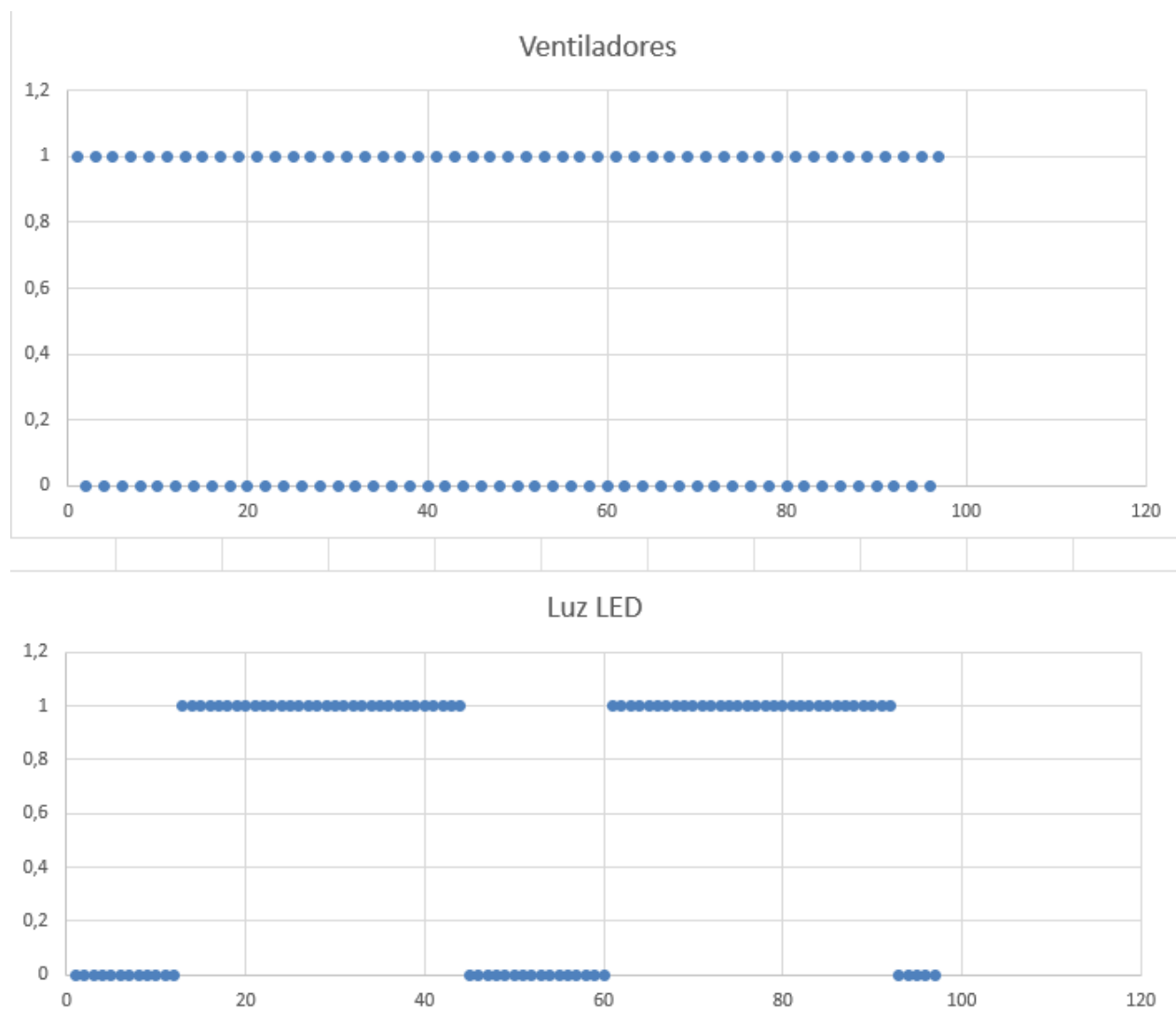
Grafica Simulado Estado ON/OFF Resistencias



En la **Figura 18** las resistencias trabajaron 27 veces para mantener la temperatura requerida.

Figura 19

Grafica Simulado Estado ON/OFF Ventiladores y luz led



En la **Figura 19** se muestran los ciclos de funcionamiento en el ventilador se intercalan cada 30 minutos y en la luz led se cumple con un ciclo diario de iluminación de 16 horas.

En resumen, el sistema simulado representa el comportamiento de una cámara de germinación controlada automáticamente, donde se monitorean la temperatura y humedad, y se activan distintos actuadores (resistencias, electroválvula, ventiladores y luz LED) según condiciones predefinidas. La frecuencia de muestreo es cada 30 minutos durante un periodo de 2 días. Según el comportamiento observado se concluye lo siguiente:

Temperatura y Humedad. La temperatura se mantiene estable entre 18°C y 20°C, mientras que la humedad varía en un rango más amplio entre 60% y 80%, mostrando fluctuaciones más notables. Esto refleja una buena regulación térmica pero una humedad más sensible al entorno o control menos preciso.

Resistencias. Solo se activan cuando la temperatura desciende de 18.5°C. En el gráfico, se observa un patrón de activación esporádico, lo cual indica que el sistema térmico es eficiente y no requiere calentamiento constante.

Electroválvula. Se activa únicamente cuando la humedad baja de 65%. En el gráfico se ve un comportamiento intermitente, con varias activaciones distribuidas a lo largo del tiempo, reflejando un sistema que ajusta la humedad de forma reactiva y puntual.

Ventiladores. Su patrón es perfectamente alternado, encendiéndose y apagándose cada 30 minutos. Esto cumple el comportamiento cíclico esperado para mantener la circulación de aire sin depender de sensores.

Luz LED. Se mantiene encendida durante el horario programado (6:00 a 22:00) y se apaga el resto del tiempo. El gráfico muestra claramente este patrón diario, indicando que el temporizador está funcionando correctamente.

Pruebas y Validación del Prototipo

Pruebas y Evaluación

Las pruebas de funcionamiento realizadas sobre el prototipo de la tarjeta de control para cámara de germinación tienen como objetivo principal verificar el comportamiento de cada uno de los componentes y asegurar que las condiciones ambientales de temperatura y humedad se mantengan dentro de los rangos establecidos. Para ello, se simularon diferentes escenarios operativos para evaluar la respuesta del sistema frente a variaciones controladas y analizando su desempeño en función de los datos obtenidos, los resultados de estas pruebas permiten validar la lógica de control implementada y determinar el grado de estabilidad y eficiencia del sistema.

Simulación de Proteus

Las pruebas para el funcionamiento se hicieron por medio del software proteus el cual se simuló cada salida de la tarjeta para verificar su funcionamiento como se muestra en la **Figura 6** colocando un apartado de “test”, luego de revisar se procede a realizar el diseño PCB donde se ubican los componentes y se hace el router de cada una de las pistas corrigiendo fallas en las conexiones y creando nuevos componentes que no tengan huellas dentro del software de proteus, una vez se haga el diseño PCB se puede continuar con el modelo 3D para tener una visual del cada elemento comparando distancias, ubicaciones que sean correctas y al gusto del diseño.

Figura 20

Diseño Tarjeta PCB

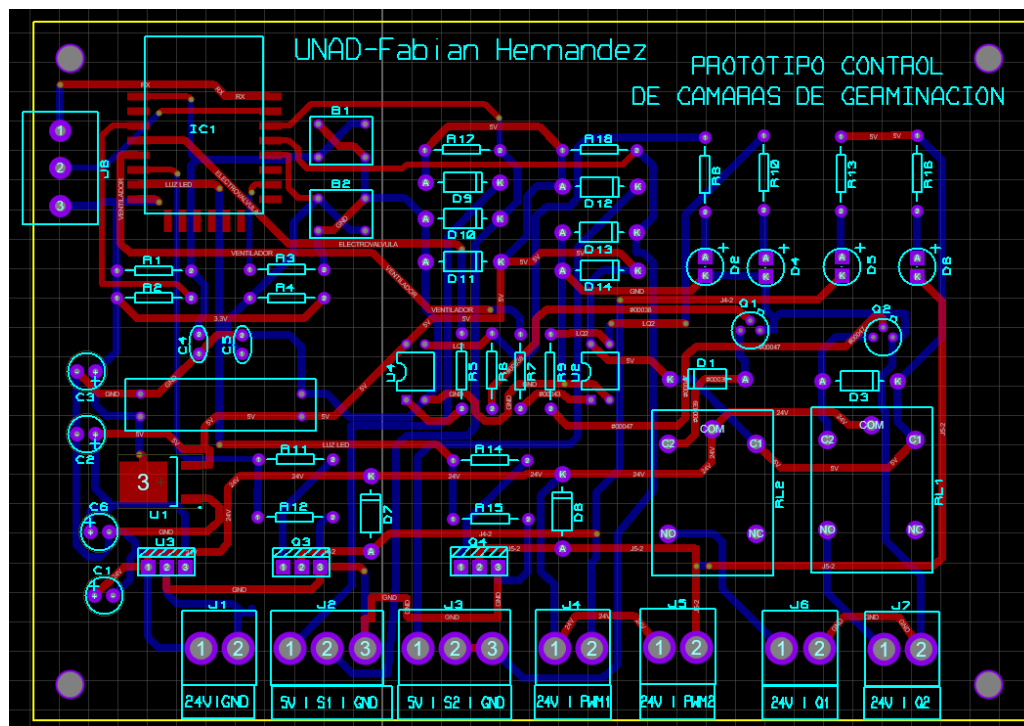
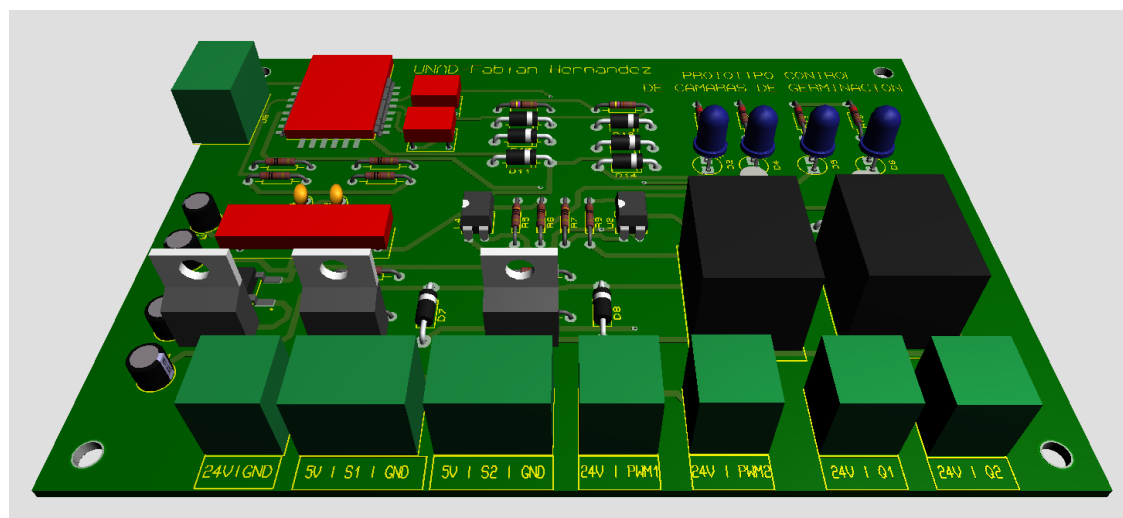


Figura 21

Diseño Tarjeta 3D



Luego de esto se procedió con la fabricación de la tarjeta PCB, la cual fue elaborada a través de la empresa JLCPCB. Una vez recibida la tarjeta, se dio inicio al proceso de ensamblaje.

Figura 22

Desarrollo de Tarjeta PCB

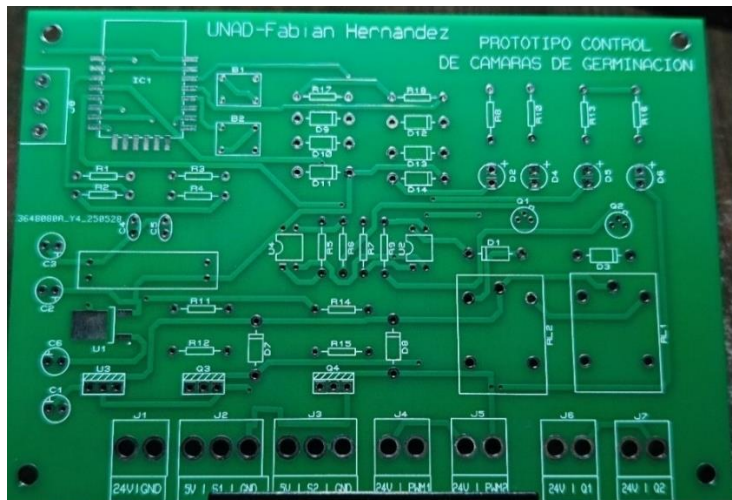
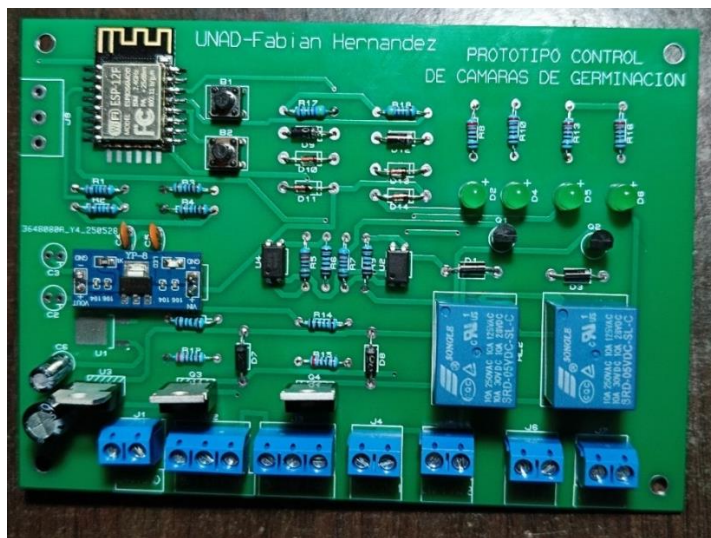


Figura 23

Ensamblaje de Tarjeta PCB



Con la tarjeta completamente ensamblada y verificada físicamente, se procede a su energización utilizando una fuente de alimentación de 24 V, con regulación adecuada para alimentar tanto los componentes de potencia como el microcontrolador. Tras la verificación de los niveles de voltaje en los pines correspondientes y la correcta polaridad en las conexiones, se inicia el proceso de conexión y sincronización con la plataforma Arduino Cloud, la cual permite monitorear y controlar el sistema de forma remota a través del panel de control previamente configurado.

Una vez establecida la conexión WiFi y confirmada la comunicación con la nube, se cargan las variables definidas en el archivo `thingProperties.h`, incluyendo las entradas analógicas para sensores y las salidas digitales y PWM para los actuadores. En este punto, se conectó el sensor DHT11, el cual fue configurado para enviar en tiempo real las lecturas de temperatura y humedad al dashboard ver Figura 24.

Figura 24

Lectura de Datos Sensor DTH11



Estas variables se mostraron en widgets personalizados que permiten visualizar fácilmente el comportamiento del ambiente interno de la cámara de germinación.

Posteriormente, se realizaron pruebas funcionales de las salidas digitales, que incluyen el control de la electroválvula (GPIO 16 Figura 25) y los ventiladores (GPIO 14 Figura 26), así como de las salidas PWM que gobiernan la resistencia de calor (GPIO 12 Figura 27) y la luz LED (GPIO 13

Figura 28).

Figura 25

Activación Salida Digital Electroválvula

**Figura 26**

Activación Salida Digital Ventilador



Figura 27

Activación Salida PWM Resistencia de Calor



Figura 28

Activación Salida PWM luz Led



Las pruebas consistieron en activar y desactivar cada salida desde el panel, verificando su respuesta inmediata y su capacidad para ser controladas tanto manualmente como

automáticamente, según las condiciones programadas. Este procedimiento no se realizó una sola vez, sino que se repitió en cinco ciclos consecutivos por cada salida, con el fin de garantizar la reproducibilidad de los resultados. En cada ciclo se evaluó la estabilidad de la respuesta y el cumplimiento de los valores de referencia establecidos para la temperatura y la humedad.

Procedimiento:

Configuración Inicial

Encender el prototipo de la tarjeta de control.

Conectar el sistema a la plataforma Arduino Cloud para monitorear y controlar las variables en tiempo real.

Establecer los Valores de Referencia

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 60 % – 80 %

Ciclo de ventiladores: 20 min ON / 20 min OFF

Ciclo de luz LED: 2 h ON / 2 h OFF

Prueba de Salidas Individuales

Activar manualmente cada salida (resistencia de calor, electroválvula, luz LED y ventiladores) desde el dashboard.

Verificar su encendido inmediato y la correcta respuesta física del dispositivo conectado.

Desactivar la salida y corroborar su apagado.

Repetir el ciclo de activación/desactivación 5 veces por cada salida.

Prueba en modo Automático

Simular condiciones fuera del rango (ejemplo: humedad $< 60\%$ o temperatura $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) para verificar la activación automática de la electroválvula y resistencia de calor.

Simular condiciones dentro del rango para comprobar que los actuadores se desactiven correctamente.

Observar que las salidas de los ventiladores y la luz LED cumplan los ciclos programados de forma autónoma.

Se hace 3 repetición de procedimiento del sistema.

Resultados

El desarrollo del proyecto culminó con resultados altamente satisfactorios en múltiples frentes: diseño de hardware, integración con software en la nube, pruebas funcionales, identificación de fallas y validación en condiciones reales de operación. Cada etapa aportó información valiosa para el refinamiento del sistema, lo que permitió alcanzar una versión funcional de la tarjeta de control, adaptada a las condiciones de una cámara de germinación.

El diseño inicial contempló el uso de una fuente de alimentación de 24 V, tanto para alimentar actuadores de media potencia como para permitir una distribución más eficiente de energía en ambientes agrícolas. La tarjeta se diseñó con salidas digitales y PWM controladas por el ESP8266, destinadas a manejar una electroválvula, ventiladores, resistencias de calor y una luz LED de alta potencia. Cada una de estas salidas fue cuidadosamente programada para funcionar en modo automático, con lógica temporal o basada en umbrales ambientales, así como en modo manual desde el Dashboard de Arduino Cloud.

Durante la fabricación, se utilizó el servicio JLCPCB, que permitió obtener tarjetas con acabado profesional y confiabilidad en los trazados del circuito. Una vez ensambladas las tarjetas, se realizó la etapa de energización y conectividad. El sistema se enlazó correctamente con Arduino Cloud mediante WiFiConnectionHandler, y se declararon todas las variables necesarias para controlar y monitorear el sistema desde el panel web.

Uno de los hitos del proyecto fue la integración de sensores DHT11 y DHT22, que proporcionan datos confiables de temperatura y humedad. Los valores leídos se reflejan en tiempo real en la interfaz de Arduino Cloud, permitiendo no solo visualizar, sino también tomar decisiones de control basadas en estos datos. Esto permitió implementar lógicas como:

Activar la electroválvula cuando la humedad cae por debajo del umbral.

Encender la resistencia de calor si la temperatura se encuentra por debajo del valor ideal.

Operar los ventiladores en ciclos ejemplo 20 minutos encendidos y 20 apagados.

Encender la luz LED en ciclos ejemplo 2 horas por 2 horas, o mantenerla encendida por 12 horas diarias.

Durante las pruebas, se observaron **comportamientos anómalos al operar a 24 V**, como la activación inmediata de algunas salidas y recalentamiento del regulador de 5 V. Tras análisis técnicos, se concluyó que esto fue causado por:

El uso de IRFZ44N debido a que es el más comercial, un MOSFET no lógico, que no conduce correctamente con los 3.3 V del ESP8266.

El uso de reguladores lineales como el 7805 o LM1117, que disipan gran cantidad de calor al bajar de 24 V a 5 V.

Pese a estas fallas, el sistema **funcionó correctamente con 12 V**, donde los niveles de disipación y activación de los componentes son más manejables. Se identificaron claramente las mejoras a implementar en una versión posterior:

Sustituir los MOSFET IRFZ44N por IRLZ44N o similares de tipo lógico.

Reemplazar reguladores lineales por Buck converters, como el LM2596.

Añadir transistores NPN como drivers de compuerta, para elevar la señal de activación del MOSFET cuando se mantenga el uso de componentes no lógicos.

Finalmente, la validación se realizó conectando todos los sensores comprobaron las respuestas del sistema, verificando que el control automático funcionara según lo programado.

Las pruebas también incluyeron el uso de la plataforma Arduino Cloud para encender y apagar dispositivos manualmente, demostrando que el sistema es interactivo, flexible y confiable.

En conclusión, los resultados de este proyecto no solo confirman la viabilidad técnica del sistema, sino que también abren la puerta a futuras mejoras, tanto a nivel de eficiencia energética como de escalabilidad. La tarjeta desarrollada puede servir como base para controlar otros entornos agrícolas, invernaderos, sistemas de cultivo automatizado, o incluso sistemas domésticos de domótica enfocados en el ambiente.

Conclusiones

El desarrollo del sistema de control para una cámara de germinación permitió aplicar de manera integral conocimientos en electrónica, diseño de hardware, programación orientada a dispositivos IoT, e implementación de interfaces de monitoreo remoto. A lo largo del proyecto se logró construir una tarjeta funcional que cumple con los requisitos principales para la automatización de ambientes controlados, incluyendo lectura de variables ambientales, control de actuadores, y comunicación con servicios en la nube.

Una de las principales conclusiones es que el uso de un microcontrolador con conectividad integrada, como el ESP8266, representa una solución eficiente y económica para proyectos de automatización remota. Su integración con Arduino Cloud facilitó la creación de una interfaz intuitiva, accesible desde cualquier navegador, que permite tanto la visualización en tiempo real de las condiciones ambientales como la activación manual o automática de dispositivos.

Durante el proceso de prueba y validación, se evidenció la importancia de la correcta selección de componentes electrónicos, en especial aquellos encargados de la conmutación de cargas. El uso del IRFZ44N, un MOSFET no lógico, resultó en una activación incompleta de las salidas cuando se alimentaba el sistema a 24 V, lo cual causó conductas erráticas como activaciones no deseadas al inicio, aumento de temperatura en el componente, y fallas funcionales. Este comportamiento dejó en claro que, para aplicaciones controladas por microcontroladores de 3.3 V, se deben emplear MOSFETs lógicos como el IRLZ44N, los cuales sí se saturan completamente con niveles bajos de tensión.

Adicionalmente, el uso de reguladores lineales como el LM1117-5.0 en una fuente de 24 V demostró no ser adecuado para sistemas con consumo de corriente moderado o alto. Estos

reguladores disipan una gran cantidad de energía en forma de calor, lo que conlleva a recalentamientos, inestabilidad en el voltaje de salida y, en casos extremos, apagado del sistema. En respuesta, se plantea el uso de reguladores conmutados (buck converters), los cuales ofrecen una eficiencia energética mucho mayor y permiten una operación estable incluso con fuentes de alta tensión.

En términos de funcionalidad, el sistema respondió satisfactoriamente en cada uno de sus modos de operación. Las salidas digitales y PWM lograron controlar de forma confiable elementos como la electroválvula, resistencias de calor, ventiladores y luz LED, ejecutando ciclos preestablecidos o respondiendo directamente a los comandos del usuario desde el Dashboard de Arduino Cloud. La implementación de sensores como el DHT11 y DHT22 permitió mantener monitoreo continuo de las variables de temperatura y humedad, y ajustar las condiciones internas de la cámara según los parámetros definidos por el usuario.

Otro aspecto destacable es el modularidad del diseño. La arquitectura planteada permite fácilmente escalar el sistema o adaptarlo a otras aplicaciones agrícolas o industriales donde se requiera monitoreo y control de variables ambientales. Esto convierte el prototipo en una base versátil para futuras implementaciones, ya sea con sensores adicionales, control de múltiples zonas, o incorporación de otras tecnologías como Bluetooth, LoRa o MQTT.

Finalmente, se concluye que el proyecto no solo cumplió sus objetivos funcionales, sino que también fortaleció habilidades prácticas en diseño electrónico y programación embebida. Además, deja como aporte una solución concreta que puede ser implementada en entornos reales, brindando eficiencia, reducción de intervención humana y una mejor gestión de condiciones críticas para la germinación de semillas.

Referencias Bibliográficas

- Agencia de Desarrollo Rural (ADR). (2025). *Informe de gestión 2025*. Agencia de Desarrollo Rural.
- Ahmed, M., & Hanif, R. (2021). Avances en agricultura de precisión utilizando sistemas electrónicos. *Smart Agriculture, 4(1)*, 15–28.
- Alghamdi, A., Almotiri, S., & Khan, I. (2022). AI-based smart hydroponic ecosystem using deep learning and IoT. *Journal of Cleaner Production, 334*, 130191.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130191>
- Arancon, N., Pant, A., Radovich, T., Hue, N., Potter, J., & Converse, C. (2012). Influencia de factores ambientales en la germinación de semillas de tomate. *Revista de Ciencia de Cultivos, 5(3)*, 123–135.
- Baskin, C., & Baskin, J. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press.
- Bewley, J., Bradford, K., Hilhorst, H., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy*. Springer.
- Consejo Nacional de Planeación (CNP). (2024). *Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026*. CNP.
- Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026: Colombia, potencia mundial de la vida*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026>
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. (2010). Precision agriculture and food security. *Science, 327(5967)*, 828–831. doi:<https://doi.org/10.1126/science.1183899>

- Gómez, R., & Martínez, D. (2020). Uso de plataformas IoT en la gestión agrícola de precisión. *Revista Iberoamericana de Tecnología Agrícola*, 8(1), 44–58.
- González, P., & Ortega, L. (2018). Impacto de sensores inteligentes en la germinación de semillas. *Revista de Tecnología Agrícola*, 19(3), 67–75.
- Gutiérrez, J., Villa-Medina, J., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gándara, M. (2014). Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 166–176.
doi:<https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Hartmann, H., & Kester, D. (2011). *Plant Propagation: Principles and Practices*. Prentice Hall.
- Hernández, L., & Castro, A. (2020). Diseño de prototipos electrónicos para la agricultura sostenible. *Innovación Tecnológica*, 14(4), 33–47.
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The art of electronics*. Cambridge University Press.
- Javaid, M., & Turville, C. (2019). Condiciones óptimas de luz y temperatura para la germinación de lechuga. *Revista Agrícola*, 12(4), 245–256.
- Lee, W., Alchanatis, V., Yang, C., Hirafuji, M., Moshou, D., & Li, C. (2015). Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(1), 2–33. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.08.005>
- Naciones Unidas. (2022). *Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS*. Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *Cómo alimentar al mundo en 2050*.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *Cómo alimentar al mundo en 2050*. FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). *Contribuciones de la agricultura sostenible a los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

Pérez, J., & López, M. (2019). Efectos de la luz LED en la germinación de semillas de cultivos hortícolas. *Horticultura Avanzada*, 13(2), 50–60.

Prasad, R., Kumar, A., & Maheshwari, D. (2019). Enfoques modernos en la agricultura: papel de la IoT y la agricultura de precisión. *Journal of Agricultural Research*, 67(3), 98–108.

Presidencia de la República. (2023). *Con nueva metodología Colombia diversificará la oferta agropecuaria hacia nuevos mercados internacionales*. Obtenido de <https://www.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Con-nueva-metodologia-Colombia-diversificara-la-oferta-agropecuaria-hacia-250315.aspx>

Puteh, S., Mat Jizat, J., & Ismail, S. (2021). Desarrollo de un sistema automatizado de monitoreo para la germinación. *Avances en Robótica, Automatización y Análisis de Datos*, 123-135.

Revista de nanomateriales. (2022). Diseño e implementación de agricultura hidropónica inteligente mediante IoT. *Revista de Nanomateriales*, 4435591(12).

Rossi, F., & Massoud, T. (2020). Soluciones basadas en IoT para monitorear la producción de cultivos. *Revista Internacional de Innovación Agrícola*, 5(2), 55–70.

Obtenido de <https://sac.org.co/sancionado-el-plan-nacional-de-desarrollo-que-queda-para-el-sector-agropecuario-y-rural>

- Sharma, P., & Kaur, H. (2021). Controles de temperatura y humedad en la germinación: una revisión. *Plant Growth Journal*, *10*(3), 98–105.
- Smith, J., & Lee, C. (2022). El papel de los sistemas de control automatizados en la agricultura. *Agricultural Engineering Today*, *48*(5), 123–132.
- Sustainable Food Technology. (2023). Impacto de tecnologías digitales en la agricultura: Reducción de costos y desperdicios. *Sustainable Food Technology*.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. Sinauer Associates.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. Sinauer Associates.
- Tecnología alimentaria sostenible. (2023). Impacto de tecnologías digitales en la agricultura: Reducción de costos y desperdicios. *Tecnología Alimentaria Sostenible*, *8*(2), 112–119.
- Wang, X., & Zhao, Y. (2023). Aplicaciones de la IA en los sistemas agrícolas modernos. *Tecnología en la Agricultura*, *7*(1), 25–35.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, *36*(2–3), 113–132.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)

Apéndices

Apéndice A

Especificaciones de Componentes Utilizados

Componente	Descripción técnica
ESP8266 (NodeMCU)	Microcontrolador con WiFi integrado, 3.3 V, 11 GPIO
DHT11 / DHT22	Sensor digital de temperatura y humedad
IRFZ44N	MOSFET de canal N estándar (40 A, 55 V)
LM1117-3.3 / LM1117-5	Reguladores lineales de voltaje (3.3 V y 5 V)
Optoacoplador PC817	Aislador de señal para protección de entradas
Relevadores SRD-05VDC-SL-C	Relés de 5 V activados por GPIO, hasta 10 A
Resistencias de potencia	Elemento calefactor, 24 V – 5 A
Electroválvula 24 V	Control de flujo de agua/solución
Ventiladores 24 V	Circulación de aire, conectados a salidas PWM
Luz LED 24 V	Iluminación cíclica para estimulación vegetal
Fuente 24 VDC	Fuente de alimentación principal (5–10 A según carga)

Apéndice B*Pinout del Sistema*

Función	GPIO (ESP8266)
Sensor DHT11	GPIO 05
Electroválvula	GPIO 16
Resistencias de calor	GPIO 12 (PWM)
Ventiladores	GPIO 14
Luz LED	PIO 13 (PWM)

Apéndice C

Variables en Arduino Cloud

Nombre variable	Tipo	Dirección	Descripción
temperaturaSensor1	Float	Entrada	Temperatura en °C
humedadTemperaturaSensor1	Float	Entrada	Humedad en %
resistenciaCalor	Int	Entrada/Salida	PWM para control térmico
electrovalvula	Bool	Entrada/Salida	Activación de flujo
ventiladores	Bool	Entrada/Salida	Ciclo de aire
luzLed	Int	Entrada/Salida	Control de luz LED