

SISTEMA PREDICTIVO MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA LA PLANTACIÓN DE ALLIUM FISTULOSUM

Realizado por:
Ing. Lira, Rodman / Correo: rodmanlirao@gmail.com
Ing. Franco, Mario / Correo: mariofranco2209@gmail.com

Tutor Académico:
Dr. Francisco Parra/ Correo: frparra@urbe.edu.ve

Tutor Metodológico:
MSc. Jorge Torrealba / Correo: Jorge.torrealba@urbe.edu.ve

Las carreteras son de las estructuras más importantes de un país, ya que permiten un desarrollo integral. Al tratarse de vías de comunicación que conectan regiones, representan uno de los canales de comercio más concurridos, además de ser el medio por el que se transporta la población, tanto de forma particular como colectiva. Las carreteras, a su vez, cuentan con

inmuebles y estructuras subterráneas en sus alrededores, de los cuales resaltan viviendas edificios y sistemas de drenaje.

Estos sistemas, debido a muchos factores pueden desgastarse y sufrir daños, haciendo que el agua que fluye a través de estos se filtre, erosionando el suelo y con el paso del tiempo creando una cavidad que destruye la estabilidad de la vía. Cuando la carretera ya no puede soportar su propio peso o tiene en exceso, se colapsa y se da un suceso conocido como socavamiento. Esto daña totalmente la zona afectada de la vía, debilita sus alrededores e imposibilita su uso, trayendo como consecuencia el retraso del tránsito y, por ende, de toda actividad comercial, industrial y agrícola, aumentando los costos logísticos.

En respuesta a lo anterior, el presente trabajo especial de grado propone desarrollar un Sistema Electrónico Predictivo Para la detección del Socavamiento. Implementándose en la Región Zuliana, debido a que ésta fue objeto de numerosos socavamientos, en 2024, en la Zona de la Circunvalación 2, donde por las torrenciales lluvias y un mal sistema drenaje ocasionaron varios socavamientos.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se presenta a continuación los resultados de la investigación, este es el punto de la investigación en el cual se entra en contacto directo con los problemas planteados, ya que se ejecutan pruebas y se recolecta información directamente de los acontecimientos.

FASE I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Para dar comienzo al análisis de los resultados de la investigación y cumplir con el primer objetivo específico, el cual es Analizar los métodos actuales para el estudio de la agricultura predictiva mediante redes neuronales artificiales, se llevó a cabo el desarrollo de la primera fase metodológica, que fue mencionada anteriormente. Mediante la entrevista semiestructurada se recolectó la información necesaria de las unidades informantes para entender los métodos actuales para el estudio de la agricultura predictiva, a su vez el ambiente de trabajo en los cuales son aplicados bajo cualquier condición, comprendiendo así el primer objetivo específico.

Dada la consulta sobre qué tipo de sistema de protección sería necesario para garantizar la operatividad del prototipo especialmente en lo relativo a sobrevoltaje y condiciones de humedad el ingeniero entrevistado propuso dos estrategias clave: el uso de sensores de alta gama con

protección de gel antiestático y la implementación de una división estructural entre el circuito de control y el sistema de riego.

Esta respuesta evidencia una comprensión integral de los riesgos asociados a ambientes agrícolas, donde la humedad representa una amenaza constante para la integridad de los componentes electrónicos. La elección de sensores con protección de gel antiestático no solo mitiga el riesgo de descargas electrostáticas, sino que también contribuye a preservar la precisión de las mediciones en condiciones adversas.

Por otro lado, la estrategia de división del circuito respecto al sistema de riego responde a un principio fundamental de diseño seguro: la compartimentación funcional. Al separar físicamente y eléctricamente los módulos, se reduce la probabilidad de fallos cruzados y se facilita el mantenimiento. Esta decisión técnica también permite establecer barreras de aislamiento, tanto en términos de voltaje como de humedad, lo cual es esencial para garantizar la continuidad operativa del sistema.

Durante las primeras etapas del cultivo germinación y establecimiento es fundamental asegurar una humedad constante, ya que el sistema radicular aún es superficial y vulnerable. A medida que la planta avanza hacia la fase de crecimiento vegetativo y formación del tallo, la demanda hídrica aumenta, por lo que el riego debe ajustarse para evitar fluctuaciones bruscas que puedan inducir estrés hídrico o afectar la calidad del tallo.

Para evitar estos riesgos, se recomienda implementar un sistema de riego por goteo, que permite una dosificación precisa del agua y reduce la humedad foliar, minimizando la incidencia de enfermedades. Además, el uso de sensores de humedad del suelo como los capacitivos permite monitorear en tiempo real el contenido de agua en el perfil radicular, facilitando decisiones basadas en datos y no en estimaciones visuales.

La respuesta del especialista sobre los niveles óptimos de humedad para el cultivo de cebolla en rama (Allium fistulosum) aporta una base agronómica esencial para el diseño de sistemas de riego automatizados. El rango recomendado entre 60% y 80% de la capacidad de campo permite una absorción eficiente de agua y nutrientes sin inducir condiciones anaeróbicas que favorezcan enfermedades radiculares. Este dato no solo orienta el manejo hídrico, sino que también define parámetros críticos para la calibración de sensores en el prototipo.

FASE II: DEFINICION DE LAS ESPECIFICACIONES

Con la finalidad de obtener los requerimientos esenciales para el diseño del sistema

predictivo, se ha realizado un análisis exhaustivo de las necesidades de funcionamiento, las condiciones del entorno operativo, así como de los estándares técnicos apropiados para el desarrollo del sistema. Para poder indagar en estos aspectos se ha consultado documentación basada en instructivos, hojas de datos y desglose de dispositivos, la cual se complementa con el asesoramiento brindado por los especialistas, obteniendo una mejor precisión en la información.

ESP32-WROOM-32D

Es un módulo Wi-Fi/Bluetooth desarrollado por Espressif Systems. El ESP32, se caracteriza por su doble núcleo de 2.4 GHz y un conectoGr USB Micro B. Es compatible con la plataforma de desarrollo Node MCU que admite programación en diferentes entornos como ESP-IDF, Arduino IDE (C++), Lua,

Python, entre otros tipos de software de programación. En cuanto a la conectividad inalámbrica dispone de Wi-Fi (802.11 b) tiene tres modos STA, AP y STA+AP, para el Bluetooth consta de BLE y Bluetooth 4.2 BR/EDR.

Figura 1
ESP32-WROOM-32D



Fuente: forum.arduino.cc (2020)

Cuadro 5
Especificaciones Técnicas Del ESP32-WROOM-32D

D1 MINI ESP-WROOM-32	CARACTERÍSTICAS
Microcontrolador	ESP32-D0WDQ6 (dual-core)
Arquitectura	Xtensa ® 32-bit LX6
Voltaje de operación	3.0V a 3.6V
Corriente de operación	Típicamente 80-260 mA, Picos de hasta 300 mA
Memoria RAM	520KB
Memoria Flash	4MB
Frecuencia de operación del reloj	180-240 MHz
GPIO	34 pines GPIO
Conectividad	Wi-Fi, Bluetooth
Dimensiones	18 x 25.5 x 3.1 mm

Fuente: Franco, Lira (2026)

SENSOR CAPACITIVO DE HUMEDAD DEL SUELO

Su funcionamiento está basado en el principio de capacitancia entre electrodos, dependiendo de los niveles de humedad presentes en el suelo. El electrodo se debe conectar a una tarjeta de acondicionamiento que entrega una salida analógica y toma valores de voltaje desde 0V hasta 5V, representando 0V un alto nivel de humedad, mientras que para un suelo muy seco el valor se representa con valor más alto, es decir, 5V.

Figura 2
Sensor Capacitivo De Humedad Del Suelo



Fuente: forum.arduino.cc (2018)

Cuadro 6
Especificaciones Técnicas Del Sensor Capacitivo De Humedad

SENSOR CAPACITIVO DE HUMEDAD DEL SUELO	CARACTERÍSTICAS
Voltaje de alimentación	3.3V–5V
Corriente de operación	5mA
Voltaje de la señal de salida	0V a 5V
Dimensiones	98x23mm
Protección	Capa anticorrosión
Compatibilidad	Arduino, PIC, ESP8266/NodeMCU/NodeMCU-32

Fuente: Franco, Lira (2026)

MODULO RELÉ

Es un dispositivo de conmutación electromecánica diseñado para actuar como una interfaz de potencia entre circuitos de baja tensión y cargas de alto consumo. Su funcionamiento permite que una señal de control digital de baja corriente, proveniente de un microcontrolador, active un interruptor físico interno mediante una bobina electromagnética, permitiendo el encendido o apagado de dispositivos externos como la bomba sumergible de 12V o luminarias, garantizando el aislamiento galvánico entre la lógica de control y la etapa de potencia.

Figura 9

Microcontrolador ESP32CAM



Fuente: www.amazon.com (2026)

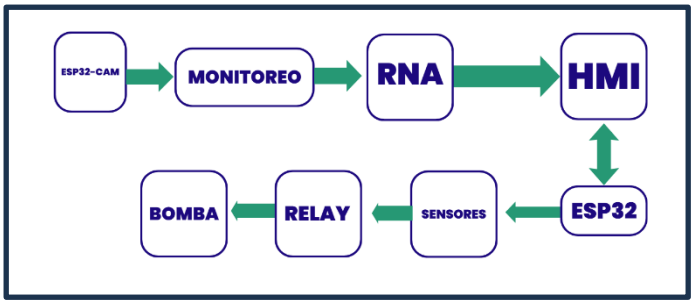
FASE III: ESQUEMA GENERAL DE HARDWARE (ANGULO, 1986)

En esta fase se desarrollan todas las etapas del sistema, en forma de bloques funcionales, interconectados los mismos de una manera lógica.

DIAGRAMA DE BLOQUES

Figura 11

Diagrama de Bloques



Fuente: Franco, Lira (2026)

El flujo de operación comienza con el ESP32-CAM, que actúa como la unidad de adquisición visual encargada de capturar imágenes del cultivo para enviarlas al bloque de Monitoreo, donde se recopila la información primaria antes de ser procesada por la RNA (Red Neuronal Artificial).

DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL CIRCUITO

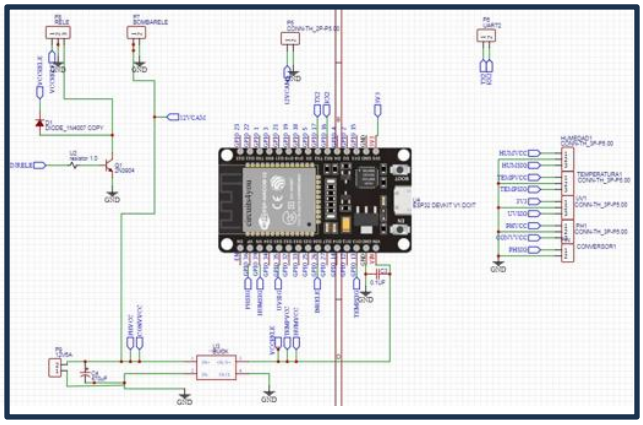


Diagrama De Conexiones Del Circuito
Fuente: Franco, Lira (2026)
Figura 13

El ESP32-CAM (U1) actúa como el cerebro supervisor del sistema. Su función principal es la captura de datos visuales que son procesados por la Red Neuronal Artificial (RNA) para diagnosticar el estado de la planta. Este módulo cuenta con su propia etapa de regulación mediante un convertidor Buck (U2), que reduce el voltaje de entrada para entregar 5V estables, filtrados por un condensador para evitar ruidos en la captura de imagen. Además, dispone de puertos de comunicación UART (P2) para el intercambio de datos con el nodo esclavo.

FASE IV: ADAPTACIÓN ENTRE EL HARDWARE Y EL SOFTWARE (ANGULO, 1986)

Esta fase abarca la transición de los diseños teóricos y esquemas técnicos hacia la ejecución material y funcional del sistema de control para el Allium fistulosum. Esta etapa se centra en la integración física del Hardware desarrollado, mediante el ensamblaje de los nodos Maestro (ESP32-CAM) y Esclavo (ESP32 DevKit V1) junto a su etapa de potencia y sensores, y el despliegue del Software desarrollado, que va desde la programación de los algoritmos de

telemetría y control de actuadores hasta la implementación de la Red Neuronal Artificial (RNA) para el análisis predictivo del cultivo



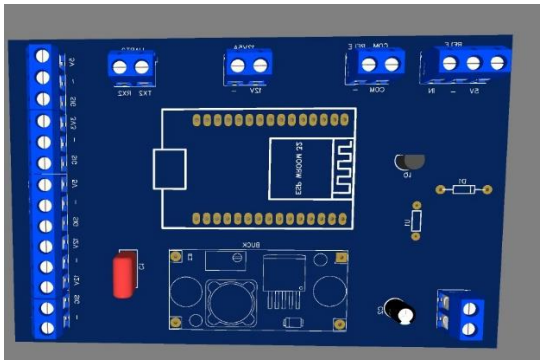
```
#include "comm.h"
#include "sensors.h"
#include <Arduino.h>

extern int estado_bomba_actual;

// Función espejo para calcular el % en el envío
float calcularPctHumedad(float v) {
    float p = (v - 2.62) * (100.0 - 0.0) / (0.80 - 2.62) + 0.0;
    if (p < 0) p = 0; if (p > 100) p = 100;
    return p;
}

void comm_init() {
    Serial.println("COMM READY");
}

void comm_send_packet() {
    float ph    = read_ph();
    float hum_v = read_humidity();
    float hum_p = calcularPctHumedad(hum_v); // Mandamos PORCENTAJE
    float uv_v  = read_uv_voltage();
    float uv_i  = read_uv_index(uv_v);
    float t     = read_temperature();

    // Ahora hum_p llegará a Blynk como un valor de 0 a 100
    Serial2.printf("DATA,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%d\n",
                   ph, hum_p, uv_v, uv_i, t, estado_bomba_actual);
}
```

Comm.cpp (Esclavo)
Fuente: Franco, Lira (2026)
Figura 16

El desarrollo del software para la gestión de datos se centraliza en el módulo comm.cpp, el cual establece una arquitectura de comunicación serial robusta encargada de actuar como puente técnico entre el nodo esclavo y el ESP32-CAM Maestro. Este componente es fundamental para la telemetría del cultivo de Allium fistulosum, ya que implementa la función calcularPctHumedad() para normalizar voltajes analógicos en valores porcentuales de 0 a 100 mediante una lógica de mapeo que interpreta como estado seco y como saturación hídrica.

FASE V: IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE (ANGULO)

Esta fase representa la materialización física del sistema propuesto, donde se integran los componentes electrónicos, sensores y módulos de procesamiento previamente seleccionados. El objetivo principal de esta etapa es consolidar la infraestructura de hardware necesaria para garantizar la captura precisa de datos ambientales y la ejecución de los algoritmos de control en un entorno real.



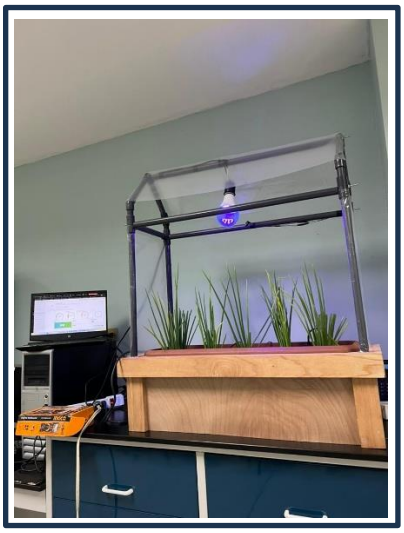
Diseño de PCB en 3D
Fuente: Franco, Lira (2026)
Figura 22

La imagen ilustra el diseño tridimensional de la PCB principal del proyecto, concebida como el núcleo de control e integración del sistema. Esta placa aloja el microcontrolador ESP32 como unidad central de procesamiento y comunicación. Se destacan las siguientes etapas integradas: un sistema de regulación de potencia mediante un conversor Buck para la distribución eficiente de voltajes (12V, 5V y 3.3V); una etapa de potencia con terminales para el control de un relé externo (incluyendo su circuito driver con Q1, D1 y U1); y múltiples puertos de conexión (UART2 y terminales de señal/potencia) diseñados para la interfaz con la red de sensores ambientales y la transmisión de datos.

FASE VI: CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DEFINITIVO Y LAS PRUEBAS FINALES.

La Fase VI constituye la etapa de consolidación técnica del proyecto, donde el diseño electrónico y la programación se integran en una unidad funcional operativa bajo condiciones de entorno real. El propósito fundamental de esta fase es verificar la fiabilidad de la infraestructura de hardware desarrollada y validar la capacidad de respuesta del sistema de control ante las variables biofísicas del cultivo de Allium fistulosum.

Esta evidencia integra todas las capacidades del prototipo: la telemetría inalámbrica, la adquisición de imágenes para diagnóstico y la ejecución automatizada de tareas de mantenimiento agrícola, validando así la arquitectura de control propuesta para el monitoreo del cultivo de Allium fistulosum.



Maqueta
Fuente: Franco, Lira (2026)
Fotografía 4

La imagen muestra la materialización del prototipo, diseñado para simular condiciones de invernadero bajo control estrictamente monitoreado. Se observa una estructura de soporte construida con perfiles de PVC y una cubierta translúcida que protege el cultivo de cebollín (Allium fistulosum) dispuesto en una jardinera integrada en una base de madera.

En la parte superior de la estructura se identifica un sistema de iluminación artificial de espectro específico (luz actínica/UV), cuya función es proporcionar la radiación necesaria para el crecimiento fotosintético y permitir la validación del sensor UV del sistema. Al fondo, se aprecia la estación de monitoreo donde la interfaz web visualiza en tiempo real los datos transmitidos de forma inalámbrica por el núcleo de control. Este montaje experimental constituye el banco de pruebas definitivo donde se verificó la robustez de la PCB diseñada, la precisión de la red de sensores ambientales y la eficacia de la red neuronal en la detección del estado de salud del cultivo.

CONCLUSIONES

Al concluir con el presente trabajo especial de grado, se realizó un análisis exhaustivo de los datos recopilados durante el desarrollo de cada objetivo establecido, que permitieron dar un comienzo basado en la documentación a través de diversas fuentes de información. Marcando un antes y un después en el proceso de investigación del estudiante.

En primera instancia, el objetivo “Analizar los sistemas actuales de gestión agrícola y su relación con la agricultura predictiva” permitió identificar las ineficiencias de los métodos empíricos

tradicionales. Se determinó la necesidad urgente de evolucionar hacia sistemas capaces de alertar y predecir, mediante indicadores agroclimáticos, las condiciones óptimas o críticas para el cultivo, superando la gestión reactiva que predomina en la actualidad.

Para el desarrollo del segundo objetivo "Determinar los requerimientos funcionales para el desarrollo de un sistema integrado basado en redes neuronales artificiales para la optimización agrícola", se hizo uso de entrevistas estructuradas a especialistas en electrónica, inteligencia artificial y agronomía. Esto permitió definir los componentes necesarios, como el microcontrolador ESP32 y sensores capacitivos, garantizando la precisión, durabilidad y estabilidad requerida para las variables del Allium fistulosum.

Al llevar a cabo el objetivo "Construir el prototipo del sistema de agricultura predictiva mediante redes neuronales artificiales para la plantación de Allium Fistulosum", se integraron el software y el hardware en un plano físico. Este proceso permitió establecer una transmisión de datos segura y un entorno de procesamiento (Edge Computing y Servidor) capaz de capturar imágenes y telemetría para su análisis inteligente, obteniendo resultados gratificantes en la ejecución del prototipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ogata, K. (2010). **Ingeniería de control moderna** (5ª ed.). Estados Unidos: Prentice Hall.

Guevara Pérez, E. (2024). **Introducción a la Ingeniería** (1ª ed.). Venezuela: Acading.

Sánchez, S. y Torres, J. (2019). **Lazo abierto y lazo cerrado – Sistemas de control.** Disponible en: https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/ [web:255]

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (2019). **Sistemas dinámicos.** Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/div_cie_tec/ingenieria/documentos/sistemas_dinamicos.pdf [web:269]

Martino, L. (2020). **Sistemas lineales temporalmente variantes.** Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/342156789_Sistemas_lineales_temporalmente_variantes

Castro Toro. (2025). **Energía confiable para zonas rurales.** Disponible en: https://smg.com.mx/energia-confiable-para-zonas-rurales-el-poder-de-los-sistemas-hibridos/

FAO. (2025). **Energía – Agricultura climáticamente inteligente.** Disponible en: https://www.fao.org/climate-smart-agriculture/knowledge/practices/energy/es/

Comesaña, R. (2025). **Modelos de predicción agrícola.** Disponible en: https://hydrobit.ag/blog/modelos-de-prediccion-agricola

OCDE/FAO. (2024). **Modelos de predicción para la agricultura.** Disponible en: https://www.agricolus.com/es/tecnologias/modelos-de-prediccion/