

INTERNET DE LAS COSAS PARA LA DETECCIÓN DE HUMEDAD EN PLANTAS DOMÉSTICAS

María del Rocío Hernández Flores¹, Bárbara Emma Sánchez Rinza²,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Faculta de Ciencias de la Computación¹, Faculta de Ciencias Físico Matemáticas²
Ciudad Universitaria
hf223470495@alm.buap.mx, barbara.sanchez@correo.buap.mx

RESUMEN

Los sensores de humedad han experimentado un notable avance en las últimas décadas, consolidándose como herramientas clave en la agricultura de precisión, la gestión ambiental y la automatización doméstica. Su integración con el Internet de las Cosas (IoT) permite un monitoreo en tiempo real y una optimización en el uso de los recursos hídricos. Este trabajo presenta el diseño de un sistema IoT para el monitoreo de humedad en plantas domésticas mediante el uso de una tarjeta ESP32-CAM y un sensor resistivo FC-28. Adicionalmente, se discuten otras tecnologías para la estimación de humedad y estrés hídrico, incluyendo sensores de capacitancia, tensión del suelo, teledetección satelital e índices espectrales. Los resultados muestran que la implementación de estas tecnologías contribuye a evitar el riego excesivo y promueve un uso eficiente del agua.

Palabras Clave: internet de las cosas, sensores de humedad, riego inteligente, ahorro de agua, agricultura de precisión.

ABSTRACT

Soil moisture monitoring is a key factor in precision agriculture, enabling efficient water management and sustainable crop production. Recent advances in the Internet of Things (IoT) have facilitated the development of low-cost and scalable systems capable of providing real-time data for irrigation control. This work presents the implementation of a monitoring system based on an ESP32-CAM microcontroller and a resistive soil moisture sensor, designed as an affordable solution for small-scale agriculture and domestic plant care. The ESP32-CAM integrates wireless connectivity and local processing, offering an efficient balance between performance and cost, while the resistive sensor provides a practical method for estimating soil humidity. Despite its limitations in durability and accuracy compared to capacitive or advanced sensors, this combination achieves an accessible platform to reduce water waste and improve irrigation practices.

Keywords: Internet of Things, soil moisture sensor, ESP32-CAM, water management.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo eficiente del recurso hídrico se ha convertido en una prioridad mundial debido al incremento en la demanda de alimentos, los efectos del cambio climático y la disminución en la disponibilidad de agua dulce [1]. En este contexto, las tecnologías digitales, en particular el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), ofrecen herramientas de monitoreo y

control que permiten optimizar procesos en sectores tan diversos como la agricultura, la industria y los entornos domésticos [2].

El uso de sensores en sistemas inteligentes ha permitido pasar de un riego basado en calendarios fijos a modelos de riego de precisión sustentados en datos. Dichos modelos no solo mejoran la eficiencia hídrica, sino que también reducen costos de producción y promueven la sostenibilidad [3]. Entre los sensores más empleados destacan aquellos destinados a medir la humedad del suelo, la tensión hídrica, la temperatura foliar y las condiciones atmosféricas [4].

La integración de sensores con redes inalámbricas y plataformas en la nube ha posibilitado un análisis más profundo mediante técnicas de Big Data e inteligencia artificial. Esto ha permitido desarrollar modelos predictivos capaces de anticipar necesidades de riego y prevenir situaciones de estrés hídrico [5]. En el ámbito doméstico, esta misma tecnología contribuye a mantener plantas ornamentales en condiciones óptimas, evitando tanto la sobrehidratación como la sequedad extrema.

Este trabajo presenta un sistema de bajo costo basado en un sensor resistivo de humedad (FC-28) y una tarjeta ESP32-CAM, que permite monitorear en tiempo real el estado de la humedad del suelo en plantas domésticas. Adicionalmente, se contextualiza la relevancia de otros tipos de sensores y técnicas de medición para un monitoreo más integral de la disponibilidad de agua en distintos escenarios.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Tipos de sensores de humedad

Los sensores resistivos, como el FC-28, miden la conductividad eléctrica del suelo y son ampliamente utilizados en aplicaciones de bajo costo. Sin embargo, presentan desventajas relacionadas con la corrosión y una vida útil limitada [6]. Los sensores capacitivos, en contraste, calculan la variación en la permitividad dieléctrica del suelo, ofreciendo mayor estabilidad y menor degradación en ambientes húmedos [7]. Tecnologías más avanzadas como la reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) y la reflectometría en el dominio de la frecuencia (FDR) proporcionan mediciones de alta precisión, aunque a un costo significativamente mayor [8].

2.2. Sensores de tensión del suelo

Los tensiómetros son instrumentos que miden la fuerza con la que el agua está retenida en el suelo. Este parámetro refleja directamente la dificultad que enfrentan las raíces de las plantas para absorber agua, y por lo tanto constituye un indicador confiable del estrés hídrico [9]. Son ampliamente utilizados en la agricultura profesional, aunque requieren mantenimiento y calibración frecuentes.

2.3. Estrés hídrico y variables asociadas

El estrés hídrico puede evaluarse no solo a partir de la humedad del suelo, sino también mediante parámetros fisiológicos de la planta. Tecnologías como sensores de temperatura foliar por infrarrojos y cámaras termográficas permiten detectar reducciones en la transpiración como consecuencia del déficit hídrico [10]. Asimismo, la teledetección mediante drones y satélites proporciona imágenes multiespectrales para calcular índices de vegetación como NDVI y NDWI, correlacionados con el estado hídrico y la salud del cultivo [11].

2.4. IoT en agricultura de precisión

La evolución de las redes de comunicación, en especial LPWAN (Low-Power Wide-Area Networks) como LoRaWAN y NB-IoT, ha permitido desplegar sensores de bajo consumo energético en grandes extensiones de terreno agrícola [12]. Estos sensores envían datos a plataformas en la nube donde se procesan mediante algoritmos de inteligencia artificial, facilitando sistemas de riego inteligente basados en predicciones [13]. El resultado es una reducción significativa del consumo de agua y un aumento en la productividad agrícola.

2.5. Estado del arte

Recientes investigaciones se enfocan en la integración de múltiples variables (humedad del suelo, temperatura, radiación solar, velocidad del viento) para modelar la evapotranspiración en tiempo real [14]. Adicionalmente, se exploran modelos híbridos que combinan datos de campo con imágenes satelitales de alta resolución, con el objetivo de mejorar la precisión del monitoreo hídrico [15]. Estas tendencias sugieren que el futuro del riego inteligente se apoyará en sistemas ciberfísicos que integren sensores heterogéneos, IoT y algoritmos de aprendizaje automático.

3. TARJETA ESP32-CAM

La ESP32-CAM (Figura 1) es una tarjeta de desarrollo basada en el microcontrolador ESP32, que incluye capacidades de cámara y conectividad Wi-Fi y Bluetooth lo cual facilita su uso con fines orientados al internet de las cosas.



Figura 1. Tarjeta ESP32-CAM

Especificaciones:

- Voltaje de alimentación: 5VDC
- Voltaje entradas/salidas (GPIO): 3.3VDC
- Módulo 802.11b / g / n Wi-Fi + BT / BLE SoC.
- CPU de 32 bits de doble núcleo de bajo consumo para procesadores de aplicaciones.
- Hasta 240MHz y 600 DMIPS.
- SRAM integrado de 520 KB, PSRAM externo de 4M.
- RAM interno 520KB + externo 4M PSRAM.
- Bluetooth estándares bluetooth4.2BR / EDR y BLE.
- Seguridad WPA / WPA2 / WPA2-Enterprise / WPS.
- Temperatura de funcionamiento -20 ° C ~ 85 ° C.
- Dimensiones: 27mm x 40.5mm x 4.5mm.

3.1. Comparación con otras tarjetas de desarrollo

- Arduino UNO: Una de las plataformas más populares, basada en ATmega328P. Carece de conectividad Wi-Fi nativa y requiere módulos externos como ESP8266, lo que incrementa costos y complejidad [16].
- Raspberry Pi Zero W: Ofrece un procesador más potente (ARM Cortex-A53, 1 GHz) y conectividad integrada. Sin embargo, su consumo energético y precio (15–25 USD) son superiores, además de requerir periféricos adicionales para captura de video [17].
- NodeMCU ESP8266: Alternativa económica (5–7 USD) con Wi-Fi integrado, pero menor capacidad de procesamiento y sin soporte nativo para cámara [18].

3.2. Justificación de la elección

La ESP32-CAM combina bajo costo, conectividad inalámbrica y capacidad de procesamiento suficiente para aplicaciones de monitoreo en tiempo real. Su integración con cámara y microSD la hace idónea para proyectos que requieran captura de imágenes o transmisión de datos ambientales, algo difícil de lograr con placas de gama baja como Arduino UNO o NodeMCU sin agregar módulos externos.

4. SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO RESISTIVO

El sensor de humedad de suelo FC-28 (Figura 2) es un dispositivo económico y sencillo de usar. Está diseñado para medir la cantidad de agua en el suelo y su uso es popular en proyectos de jardinería, agricultura y automatización de sistemas de riego. Cuenta con un potenciómetro que permite ajustar el valor de umbral por lo que cuando la humedad del suelo es menor a este umbral, la salida mantendrá un valor Alto y en el caso cuando la humedad del suelo es superior al valor de umbral establecido, la salida del módulo dará a un valor bajo.

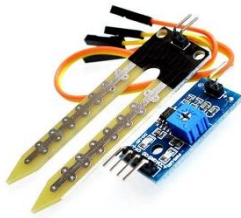


Figura 2. Sensor de humedad de suelo FC-28

Especificaciones:

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC (VCC)
- Corriente de operación: 35mA
- Voltaje de señal de salida analógico (AO) : 0 a VCC
- Voltaje de señal de salida digital (DO) : 3.3V/5V TTL
- Opamp LM393 en modo comparador, umbral (threshold) regulable por potenciómetro
- Superficie de electrodo: Estaño
- Vida útil electrodo sumergido: 3 a 6 meses

4.1. Comparación con otras tarjetas de desarrollo

- Capacitivo (YL-69, v2): Opera midiendo la constante dieléctrica del suelo. Tiene mayor durabilidad porque los electrodos no están en contacto directo con el agua. Su precio es ligeramente superior (3–5 USD) pero es más confiable en aplicaciones prolongadas [19].
- Sensores TDR/FDR (Time/Frequency Domain Reflectometry): Ofrecen alta precisión y permiten monitorear diferentes profundidades. Sin embargo, son dispositivos costosos (150–500 USD por unidad) y están orientados a aplicaciones científicas y agrícolas a gran escala [20].
- Tensiómetros: Miden la tensión del agua en el suelo en centibares (cb). Son más precisos para evaluar el esfuerzo de las raíces al absorber agua, pero requieren calibración frecuente y tienen precios superiores (50–150 USD) [21].

4.2. Justificación de la elección

El sensor resistivo FC-28 fue seleccionado por su simplicidad, disponibilidad y bajo costo, lo que lo hace adecuado para proyectos domésticos y prototipos educativos. A pesar de su vida

útil limitada, su integración con la ESP32-CAM permite desarrollar un sistema completo de monitoreo IoT por menos de 15 USD, frente a alternativas profesionales que superan los 100 USD por sensor.

5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTO-BENEFICIO

La combinación de la ESP32-CAM y el sensor resistivo FC-28 representa una solución de bajo costo y rápida implementación. Aunque no alcanza la precisión de tecnologías avanzadas como TDR o tensiómetros, permite cubrir la necesidad básica de identificar cuándo regar plantas en entornos domésticos y de pequeña escala.

En proyectos agrícolas a mayor escala, se recomienda reemplazar el FC-28 por sensores capacitivos o combinarlo con tensiómetros y sensores climáticos para una medición más robusta.

6. ARQUITECTURA DE SERVICIOS

Se creó un objeto inteligente el cual se compone por un objeto físico, en este caso el sensor de humedad de suelo FC-28 es conectado a una tarjeta electrónica ESP32-Cam (Figura 3) la cual tiene el papel de componente computacional que brinda al objeto inteligente conectividad e inteligencia local. Estos componentes a su vez fueron puenteados a una tarjeta tipo Arduino UNO que facilita la comunicación entre la computadora y la tarjeta ESP32-Cam.

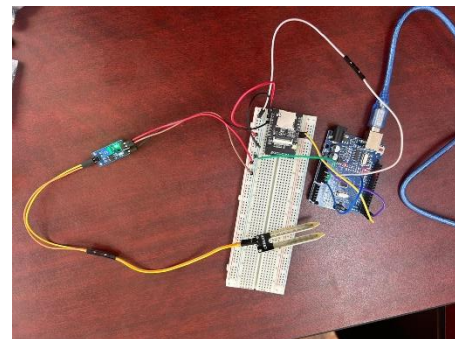


Figura 3.- Ensamble del objeto inteligente para la medición de humedad

Posterior a esto, se escribió un código en Arduino (similar a C++) que posteriormente fue compilado y cargado en la tarjeta ESP32-Cam.

En el código se establecen los rangos para los cuales la medición se considera como “Húmedo”, “Medio seco” y “Seco” utilizando como referencia los valores de las mediciones obtenidas al meter y sacar el sensor de un recipiente con agua.

```
if(sensorValue >4000){
  Serial.println("Seco");
}else{
  if(sensorValue > 2900 && sensorValue <
3500){
```

```
Serial.println("Medio seco");
}else{
    Serial.println("Humedo");
}
```

A su vez, se incluyó la biblioteca "BluetoothSerial.h" para permitir conexión a Bluetooth y poder mostrar la medición en dispositivos móviles Android por medio de la aplicación "Serial Bluetooth Terminal".

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró el monitoreo en tiempo real de la humedad del suelo en plantas domésticas a través de la ESP32-CAM y la aplicación "Serial Bluetooth Terminal". La implementación permite clasificar el estado de la humedad en tres niveles ("Húmedo", "Medio seco" y "Seco"), lo que facilita la toma de decisiones respecto al riego.

En comparación con otros métodos, el sistema es económico y fácil de implementar, aunque presenta limitaciones en la durabilidad del sensor resistivo. En aplicaciones agrícolas a gran escala, sería más recomendable integrar sensores capacitivos o tecnologías TDR conectadas a plataformas IoT.

En la Figura 4 se muestra una impresión de pantalla de cómo se visualiza la medición del sensor en la interfaz Arduino IDE.

```
13:28:50.246 -> 4095
13:28:50.246 -> Seco
13:28:53.250 -> 4095
13:28:53.250 -> Seco
13:28:56.224 -> 4095
13:28:56.224 -> Seco
13:28:59.260 -> 2356
13:28:59.260 -> Humedo
13:29:02.257 -> 2435
13:29:02.257 -> Humedo
13:29:05.262 -> 2639
13:29:05.262 -> Humedo
13:29:08.243 -> 2707
13:29:08.243 -> Humedo
13:29:11.252 -> 2817
13:29:11.252 -> Humedo
```

Figura 4.-Mediciones realizada por el sensor y visualizadas desde Arduino IDE.

Estas mismas mediciones se pueden visualizar en dispositivos móviles Android por medio de la aplicación "Serial Bluetooth Terminal" (Figura 5).

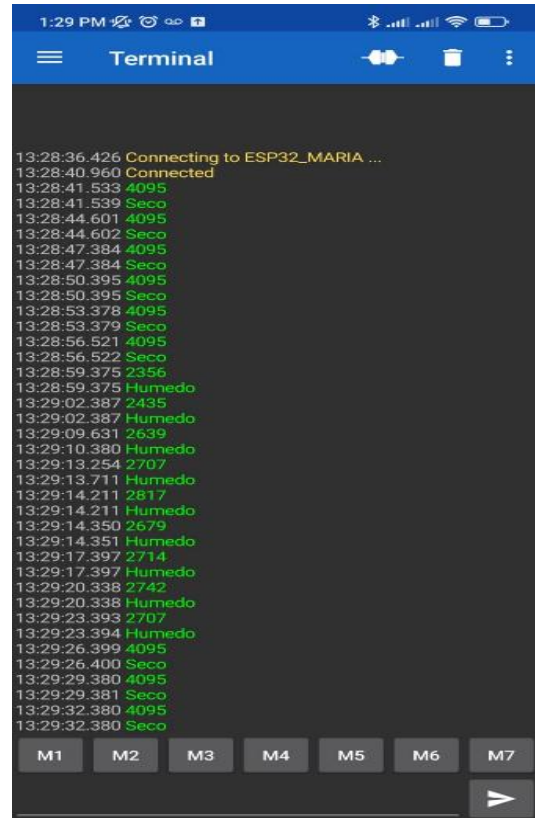


Figura 5.- Mediciones realizadas por el sensor y visualizadas desde serial Bluetooth terminal.

8. CONCLUSIONES

El uso de sensores de humedad integrados con IoT constituye una alternativa viable para el ahorro de agua y el manejo eficiente de cultivos y plantas domésticas. Si bien el sensor resistivo FC-28 es adecuado para proyectos de bajo costo, se recomienda explorar tecnologías más robustas en aplicaciones de gran escala. El futuro del monitoreo ambiental apunta a la integración de sensores heterogéneos (capacitivos, tensiómetros, espectrales) y técnicas de inteligencia artificial para predecir necesidades hídricas con mayor precisión.

REFERENCIAS

- [1] FAO, "The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture," Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, Rep., 2021.
- [2] L. Da Xu, W. He, and S. Li, "Internet of Things in industries: A survey," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, Nov. 2014.
- [3] T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuvanshi, "Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges," Comput. Electron. Agric., vol. 118, pp. 66–84, Oct. 2015.
- [4] J. Zhang et al., "Smart irrigation based on IoT and AI for precision agriculture," IEEE Access, vol. 9, pp. 129275–129289, 2021.
- [5] H. Li, L. Zhang, and Z. Wang, "Big data driven smart agriculture: Pathways and applications," Front. Environ. Sci., vol. 10, no. 841, pp. 1–12, Mar. 2022.

- [6] A. Ruiz-Altisent, "Soil moisture sensors: Characteristics and applications," *Agricultural Water Management*, vol. 261, p. 107365, 2022.
- [7] Y. Ma, M. Hu, and K. Li, "Evaluation of capacitive soil moisture sensors for IoT applications," *Sensors*, vol. 20, no. 19, p. 5608, Oct. 2020.
- [8] M. Fares, "TDR and FDR technologies for soil moisture measurement: Principles and applications," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, vol. 85, no. 1, pp. 1–13, 2021.
- [9] J. R. L. Smith and P. R. Fisher, "Tensiometers for soil water measurement and irrigation management," *Agric. Water Manage.*, vol. 234, p. 106135, 2020.
- [10] A. Cohen, R. Alchanatis, Y. Meron, et al., "Estimation of leaf water potential by thermal imagery and machine learning," *Agric. Water Manage.*, vol. 248, p. 106764, 2021.
- [11] P. J. Zarco-Tejada, J. Rueda, and A. Ustin, "Water stress detection in crops using multispectral and thermal imagery," *Remote Sens. Environ.*, vol. 80, no. 1, pp. 29–41, 2022.
- [12] D. Adhikary, S. D. Kamal, and R. Maskeliunas, "IoT-based low-power wireless sensor networks in smart farming," *IEEE Sensors J.*, vol. 21, no. 16, pp. 17601–17610, Aug. 2021.
- [13] M. A. Zamora-Izquierdo, J. Santa, A. J. Martínez, V. Martínez, and A. F. Skarmeta, "Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing," *Sensors*, vol. 19, no. 22, p. 478, 2019.
- [14] S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M.-J. Bogaardt, "Big data in smart farming – A review," *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69–80, 2017.
- [15] J. Gao, X. Liu, and H. Wang, "Integration of remote sensing and IoT for real-time water stress monitoring," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 19, pp. 1–5, 2022.
- [16] M. Banzi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino*, 4th ed. Maker Media, 2022.
- [17] Raspberry Pi Foundation, "Raspberry Pi Zero W Technical Specifications," 2023.
- [18] K. Lee et al., "IoT prototyping platforms comparison for agricultural applications," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 9853–9865, 2023.
- [19] Y. Ma, M. Hu, and K. Li, "Evaluation of capacitive soil moisture sensors for IoT applications," *Sensors*, vol. 20, no. 19, p. 5608, Oct. 2020.
- [20] M. Fares, "TDR and FDR technologies for soil moisture measurement: Principles and applications," *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, vol. 85, no. 1, pp. 1–13, 2021.
- [21] J. R. L. Smith and P. R. Fisher, "Tensiometers for soil water measurement and irrigation management," *Agric. Water Manage.*, vol. 234, p. 106135, 2020.