Autoridades Utec

Lic. José Mauricio Loucel Funes
Presidente

Dr. Carlos Reynaldo López Nuila
Vicepresidente

Dr. Nelson Zárate
Rector Utec

Dra. Noris Isabel López Guevara
Vicerrectora de Investigación y Proyección Social

Dra. Camila Calles Minero
Directora de Investigaciones

Otras líneas de investigación

- Empleabilidad
- Educación
- Industria 4.0
- Salud mental
- Medio Ambiente

Investigación en breve

Es una colección de fascículos que resumen los resultados de las investigaciones realizadas por la Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social.

No hay enseñanza sin investigación ni investigación sin enseñanza
Pablo Freire



Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social

Calle Arce y 19ª avenida Sur n.º 1045, edificio *Dr. José Adolfo Araujo Romagoza*.
San Salvador, El Salvador, (503) 2275-1013 / 2275-1011

n.º 64
SEPTIEMBRE 2026
INVESTIGACIÓN EN BREVE
Vicerrectoría de Investigación
y Proyección Social



Sistema inteligente portátil para el monitoreo y mapeo de nutrientes del suelo en terrenos agrícolas

Omar Otoniel Flores Cortez
Dirección de Investigaciones – UTEC
omar.flores@utec.edu.sv
https://orcid.org/0000-0003-1754-4090

Universidad Tecnológica de El Salvador

Universidad Tecnológica de El Salvador

Sistema inteligente portátil para el monitoreo y mapeo de nutrientes del suelo en terrenos agrícolas

Resumen

Este trabajo presenta una estación de internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) portátil y de bajo coste para el perfilado georreferenciado de los nutrientes del suelo en la agricultura. El sistema combina un sensor de suelo para la medición de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), un microcontrolador ESP32, un módulo GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles) y un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para adquirir y transmitir datos sobre los nutrientes en tiempo real. Los datos se envían a una plataforma de IoT para su visualización en la nube. Priorizando la portabilidad y la flexibilidad de muestreo, el dispositivo permite la recolección manual en diversos lugares del campo, calidad que lo hace ideal para granjas de pequeña y mediana escala o áreas con infraestructura limitada. Las pruebas de campo confirmaron la fiabilidad de la adquisición y visualización de datos.

Introducción

La agricultura de precisión depende de datos del suelo oportunos y resueltos espacialmente para informar sobre la fertilización y la gestión de la salud del suelo. Los nutrientes del suelo, especialmente el nitrógeno, el fósforo y el potasio son fundamentales para la productividad de los cultivos, pero los análisis de laboratorio tradicionales suelen ser lentos y poco prácticos para un uso frecuente y a gran escala. Los avances en el IoT de bajo coste han permitido el desarrollo de sistemas portátiles que integran sensores de suelo, microcontroladores, comunicación inalámbrica y GPS, posibilitando la recopilación de datos sobre nutrientes distribuidos espacialmente y casi en tiempo real. Aunque muchas soluciones de monitorización del suelo mediante IoT utilizan nodos fijos o redes inalámbricas locales, estos enfoques pueden limitar la flexibilidad del muestreo, especialmente para los agricultores de pequeña y mediana escala o las zonas con infraestructuras deficientes.

Esta investigación presenta una estación de IoT portátil diseñada para apoyar el perfilado georreferenciado de los nutrientes del suelo in situ. Los datos se almacenan y visualizan mediante una plataforma web de IoT, para facilitar el acceso remoto y permitir futuros análisis espaciales. La contribución de este trabajo radica en la integración práctica de la portabilidad, los componentes de bajo coste, la conectividad a la red celular y la adquisición de datos georreferenciados en una única unidad compacta.

Metodología

El sistema propuesto es una solución de IoT portátil y de bajo coste para el perfilado georreferenciado de los nutrientes del suelo en la agricultura. Permite la adquisición y transmisión en tiempo real de parámetros clave de nutrientes —nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)— utilizando un microcontrolador basado en ESP32, un sensor digital de NPK del suelo y un módulo de comunicación GSM. El diseño consta de dos etapas principales: una unidad de detección de campo y una plataforma de visualización de IoT basada en la nube.

La arquitectura del sistema incluye la detección de nutrientes del suelo, el geoetiquetado basado en GPS, la comunicación inalámbrica basada en GSM, el formateo y almacenamiento de datos. El microcontrolador ESP32 es el núcleo del dispositivo. El sensor de suelo (modelo NPK-S) utiliza un método de medición selectivo de iones y la salida digital del estándar RS-485. La conectividad la proporciona un módulo SIM7000G compatible con GSM/GPRS y GPS. La alimentación es provista por una batería recargable de iones de litio de 3,7 V y 4000 mAh, garantizando así horas de funcionamiento continuo sobre el terreno. El dispositivo está alojado en una carcasa de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) de grado de Protección contra el Ingreso 69 (IP69), que ofrece resistencia al polvo, la humedad y las exigentes condiciones exteriores. La Figura 2 muestra la arquitectura funcional del prototipo.

El firmware, escrito en MicroPython, controla el proceso de muestreo. Cuando se coloca el sensor en el suelo, el ESP32 activa un ciclo de muestreo, capturando los datos NPK y las coordenadas GPS. Los resultados se estructuran en formato JSON y se envían a un servidor en la nube ThingsBoard a través de MQTT sobre GSM, con una duración aproximada de 45 segundos por ciclo. La plataforma de IoT almacena las concentraciones de nutrientes y las ubicaciones GPS correspondientes para cada punto de prueba.

Resultados

Se efectuaron pruebas de uso en diferentes cultivos, en los que se insertó la sonda del sensor portátil en múltiples ubicaciones dentro del área de prueba. En cada punto de muestreo, el sistema registró las concentraciones de nutrientes del suelo para nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), junto con las coordenadas GPS (ver Figura 3). Los datos recopilados se transmitieron de forma inalámbrica a la plataforma en la nube casi en tiempo real. Durante las pruebas, el módulo GSM mantuvo una conectividad estable en condiciones de cobertura GSM urbana. El sistema de energía, alimentado por una batería de iones de litio de 3,7 V y 10050 mAh, soportó múltiples ciclos de adquisición durante una sesión de prueba de 90 minutos sin que se observara una degradación del rendimiento del sistema.

El sensor NPK utilizado en el prototipo tiene una precisión de ±5 %. Se observó variabilidad en los valores medidos en determinadas condiciones de humedad del suelo durante las pruebas. Utilizamos los datos NPK recopilados por el sistema propuesto para crear mapas de calor detallados que ilustran la distribución espacial de los nutrientes clave —nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)— en toda la zona de prueba en plantación de café (véase la Figura 4). Estos resultados confirman que el diseño propuesto puede realizar eficazmente la medición de nutrientes, el etiquetado de geolocalización y la integración en la nube, sentando una base sólida para futuras pruebas de campo a gran escala y la cartografía del suelo basada en datos.

Conclusiones

Los resultados demuestran que el sistema propuesto cumple su objetivo principal de permitir la elaboración de perfiles de nutrientes del suelo portátiles, de bajo coste y georreferenciados utilizando tecnologías de IoT. En consonancia con el objetivo de portabilidad, el sistema permite un muestreo espacial flexible en múltiples ubicaciones sin necesidad de instalaciones fijas. La capacidad de asociar cada medición con coordenadas geográficas proporciona la base necesaria para el futuro mapeo espacial de nutrientes y estrategias de fertilización específicas para cada sitio.

Al basarse en la infraestructura GSM ampliamente disponible y en plataformas de IoT de código abierto, la solución propuesta evita la dependencia de redes locales o sistemas propietarios, aumentando su aplicabilidad en contextos agrícolas de pequeña y mediana escala.

En general, este estudio logra su objetivo de demostrar una estación de detección de nutrientes del suelo funcional, portátil y conectada basada en el IoT.

Figuras

1. Arquitectura funcional del sistema diseñado.
2. Arquitectura operativa del sistema diseñado.
3. Prototipo en campo.
4. Mapas de distribución espacial de nutrientes en plantación de café.

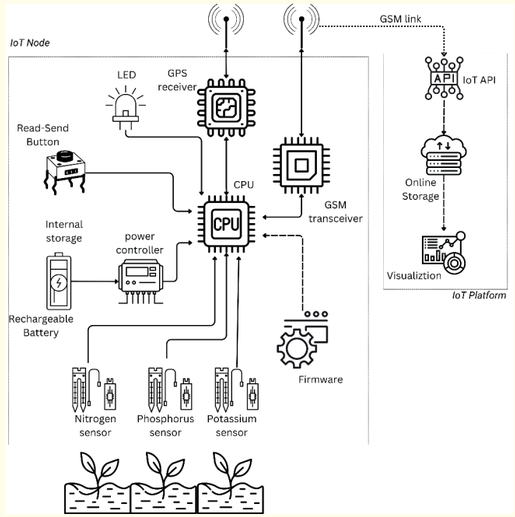


Figura 1. Arquitectura funcional del sistema propuesto.

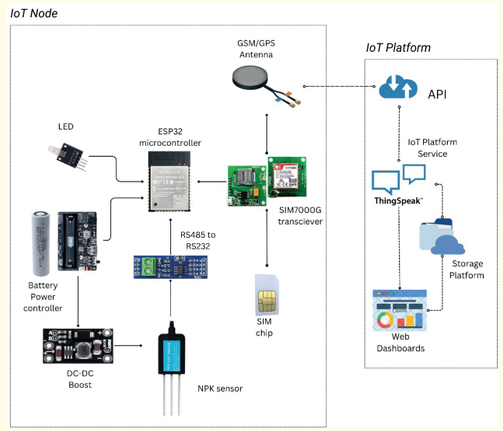


Figura 2. Especificación del hardware del sistema propuesto.



Figura 3. Prototipo funcional en campo.

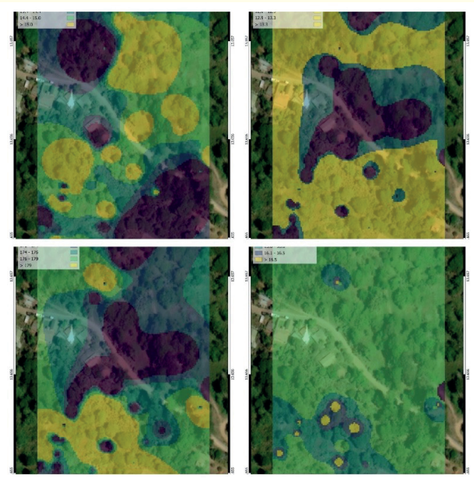


Figura 4. Mapas de distribución geoespaciales de los nutrientes en el cultivo de café estudiado.