

Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de macronutrientes NPK de un cultivo de piña en Santander de Quilichao.

Juan David Ordoñez Zambrano¹, Rusbelt Palomino Mina¹

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión de bajo costo para el monitoreo de niveles de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en un cultivo de piña. El sistema consta de cinco nodos sensores y un nodo Gateway. Los nodos sensores utilizan sondas calibradas para medir los niveles de NPK y envían los datos al nodo Gateway a través de un módulo transceptor. Una base de datos en Firebase recibe, organiza y almacena las medidas y los valores de NPK pueden consultarse en tiempo real mediante una aplicación móvil desarrollada en App Inventor.

Las implementación y pruebas se realizaron en un cultivo de piña ubicado en la vereda Quinamayó de Santander de Quilichao, Cauca. Los resultados de las pruebas confirmaron la calibración exitosa de las sondas y el correcto funcionamiento del sistema. Una encuesta realizada para evaluar el desempeño de la aplicación móvil y del sistema en general reveló que la aplicación es fácil de usar y los agricultores se mostraron satisfechos con el sistema de monitoreo.

Introducción

El proyecto se enfoca en el desarrollo de un sistema que permita monitorear los niveles de NPK del suelo por zonas en un cultivo de Piña, utilizando técnicas y componentes de bajo costo para que el sistema se asequible a medianos y pequeños agricultores. Para cumplir con el objetivo general propuesto se realizaron varias etapas en las que se incluyen la identificación de técnicas a través del estado del arte que permitan construir el sistema deseado, el diseño por subsistemas basado en la selección de componentes y nuevas tecnologías de bajo costo, la implementación de prototipos en campo para evaluar el funcionamiento del sistema, la adaptación de los prototipos para la instalación final en el cultivo, y por ultimo la evaluación de funcionamiento y satisfacción del sistema desarrollado.

Fundamentación teórica

Fertilización

El proceso de fertilización es quizás el más importante en la agricultura actual, ya que en gran medida la productividad del cultivo y la calidad de los frutos dependen de este [1]. Este proceso debe realizarse con cuidado especial, ya que una mala gestión de los fertilizantes podría afectar tanto el desarrollo del cultivo como la economía del agricultor. El proceso consiste en aplicar la cantidad necesaria de nutrientes al cultivo para ayudarlo a tener un mejor rendimiento. Para lograrlo, es necesario contar con el conocimiento previo del estado nutricional del cultivo, ya que los tipos de fertilizantes y los planes de fertilización dependen de la presencia de nutrientes en el suelo del cultivo.

La importancia de la fertilización en los cultivos se basa en que esta asegura la calidad y productividad de los cultivos, evita tener que incrementar las superficies cultivadas para suplir las necesidades alimenticias y su aplicación controlada aporta a la sostenibilidad del suelo [2].

Macronutrientes

Los tres principales macronutrientes que requieren la gran mayoría de cultivos para su óptimo desarrollo son el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). Cada uno de estos aporta al desempeño de diferentes propiedades de los cultivos como por ejemplo la coloración, el tamaño y sabor de los frutos, el desarrollo de raíces y tallos fuertes, entre otros.

- *Nitrógeno*: el Nitrógeno aporta al crecimiento de tallos y brotes, además de incrementar la producción de frutos y follaje, ya que influye en la formación de aminoácidos, purinas y pirimidinas, y se utiliza en funciones de regulación [3]. Cuando hay un exceso de este nutriente, se crea una relación desequilibrada entre hojas y tallos que debilita a la planta, la hace vulnerable a enfermedades y modifica el sabor de los frutos [4].
- *Fósforo*: el Fósforo forma parte de los ácidos nucleicos y de los lípidos de las membranas [3]. Este nutriente contribuye a la producción de brotes, raíces, floración y lignificación. La ausencia de fósforo en el suelo retrasa el crecimiento y la expansión de las raíces, lo que ocasiona un subdesarrollo de las plantas y frutos pequeños. El exceso de este nutriente puede bloquear la absorción de micronutrientes como el calcio, hierro, magnesio, cobre y zinc, que garantizan un buen fruto [4].
- *Potasio*: este mineral participa en el mantenimiento de la homeostasis, el transporte, la señalización y los procesos metabólicos de las plantas [3]. El potasio contribuye al aumento del tamaño de los frutos y mejora su sabor. También influye en el color y fragancia de las flores. También brinda resistencia a plagas y enfermedades en las plantas. El exceso puede causar deficiencias en la absorción de micronutrientes como el calcio o el magnesio, los cuales son importantes para tener un fruto de calidad y proteger de enfermedades a la planta [4].

Antecedentes

Se tuvo la oportunidad de analizar nueve artículos relacionados con métodos de detección y medición de nutrientes NPK en suelo. Después de considerar los requisitos establecidos para el sistema, se decidió que la mejor opción era desarrollar una sonda de medición utilizando el método de conductividad eléctrica, una red de sensores inalámbricos y una aplicación móvil para visualizar los datos, similar a lo propuesto en [5]. Esta sonda sería calibrada mediante técnicas de linealización y/o interpolación utilizando un sensor comercial de alta precisión. Esta solución representaba una mejora en comparación con los métodos encontrados en la literatura, ya que permitía obtener una mayor precisión al utilizar un sensor comercial para la calibración, en lugar de depender de una ecuación que requería de un valor objetivo y solo proporcionaba resultados cualitativos sobre el estado de NPK del suelo [6][7]. Además, la solución propuesta no requería técnicas complejas como la espectroscopia [8], la colorimetría [9][10][11], el aprendizaje automático [12] o el uso de sensores potenciométricos [3] como lo mencionado por otros autores.

Red de sensores inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son redes compuestas por varios dispositivos que se encargan de monitorear variables de interés de una zona y transmitirla a una estación de control [13], estos dispositivos se comunican entre sí de manera inalámbrica. Las WSN se componen de dos elementos importantes, los nodos sensores encargados de la obtención y transmisión y un nodo gateway encargado del almacenamiento y procesamiento.

Resultados

En primer lugar, se realizó el diseño del sistema mediante un proceso de selección de componentes en el cual se analizaron y evaluaron diferentes alternativas con el fin de seleccionar los componentes electrónicos y plataformas que mejor se adaptaran a las necesidades del proyecto. El resultado de este proceso de diseño fue el sistema que se presenta en modo de diagrama de bloques en la figura 1.

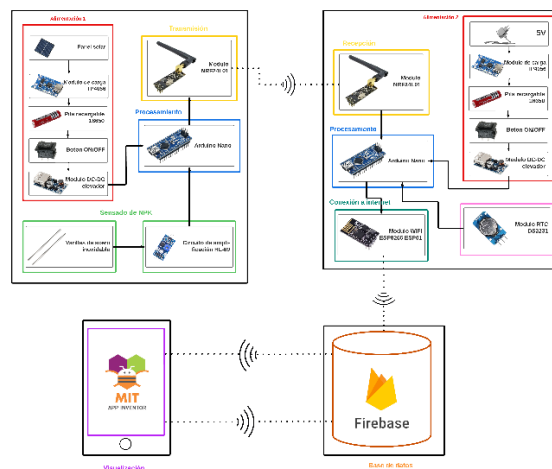


Figura 1. Diagrama de bloques de la solución propuesta

Luego de definir la arquitectura del sistema se procedió a construir los dispositivos, para esto se fabricaron placas de circuito impreso para ensamblar los componentes de el nodo Gateway, los nodos sensores y las sondas de los nodos sensores. Además, se fabricaron cajas con impresión 3D utilizando material PLA, para proteger del agua y del polvo los circuitos. El aspecto final de los dispositivos que componen el sistema se observa en la figura 2.

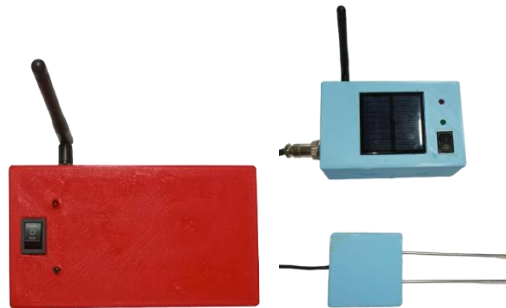


Figura 2. Nodo Gateway, Nodos sensor y sonda

Para validar la calibración de las sondas se realizaron mediciones de cada una de las cinco sondas en una muestra de suelo junto con el sensor *NPK meter Tester*. Con este proceso se obtuvieron mediciones con errores relativos menores al 16%, lo cual se considero aceptable teniendo en cuenta que no se consideraron valores decimales en el diseño de las sondas, por lo cual un error absoluto de ± 1 en una medición representa aproximadamente un error relativo del 5%. Los resultados de las mediciones y el cálculo del error se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente.

	Sensor NPK Tester	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4	Sonda 5
Nitrógeno (ppm)	38	36	37	35	36	38
Fósforo (ppm)	13	12	14	11	11	14
Potasio (ppm)	19	18	20	18	18	21

Tabla 1. Comparación de mediciones entre las sondas y el sensor *NPK meter tester*.

	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4	Sonda 5
Nitrógeno	5.3	2.6	7.9	5.3	0.0
Fósforo	7.7	7.7	15.4	15.4	7.7
Potasio	5.3	5.3	5.3	5.3	10.5

Tabla 2. Porcentajes de error de las mediciones.

Luego de probar y validar el funcionamiento del sistema se realizó la adaptación para la instalación final de los nodos sensores en el cultivo de piña, para esto se utilizaron bases metálicas de 1.3 metros de altura en las cuales se ubicaron los nodos sensores. Con esto se facilitó el acceso físico a los nodos sensores y se garantizó la exposición adecuada de los paneles solares a la radiación solar para recargar las baterías. En la figura 3 se aprecia la ubicación final de uno de los nodos sensores y como el panel solar genera 4.26 V los cuales son suficientes para recargar la batería.



Figura 3. Instalación final de un nodo sensor y prueba de panel solar.

Para evaluar el sistema se realizó una encuesta mediante la cual se buscó conocer sobre la facilidad de uso de la aplicación móvil y la satisfacción con el sistema en general. Al analizar los resultados de la encuesta, se encontró que todos los encuestados indicaron que han utilizado la aplicación móvil para acceder a los datos de NPK en tiempo real del cultivo de piña. Además, la facilidad de

uso de la aplicación obtuvo una calificación promedio de 4 en una escala del 1 al 5, donde 5 es muy fácil y 1 muy difícil, lo que indica que los encuestados consideraron que la aplicación es fácil de usar. Todos los encuestados afirmaron que la aplicación proporcionó información clara y comprensible sobre los valores de NPK en cada zona del cultivo, y todos ellos han consultado el historial de datos de NPK del cultivo a través de la aplicación móvil. La funcionalidad del sistema de monitoreo de NPK también obtuvo una calificación promedio de 4, donde 5 es muy satisfactorio y 1 es muy insatisfactorio, lo que indica la satisfacción de los encuestados con su funcionalidad. En cuanto a dificultades técnicas o mal funcionamiento del sistema, dos de los encuestados indicaron que no encontraron ninguna dificultad, mientras que uno de ellos mencionó que debe tener una buena conexión a internet para que funcione sin interrupciones. Adicionalmente, todos los encuestados recomendarían el sistema de monitoreo de NPK a otros agricultores.

Discusión y Conclusiones

Se logró desarrollar un sistema de monitoreo de bajo costo que brinda a los agricultores la capacidad de obtener datos relevantes sobre los niveles de los macronutrientes en su cultivo de piña. El sistema puede ser implementado por pequeños y medianos agricultores para mejorar su proceso de fertilización con el fin realizar mejores planes de fertilización y optimizar los recursos destinados a este proceso.

La investigación previa permitió identificar los requerimientos y necesidades del sistema, y la consulta de información relevante facilitó la selección de componentes y herramientas adecuados para el desarrollo del proyecto.

El sistema de monitoreo se diseñó utilizando tecnologías innovadoras, como el sensor Soil NPK Meter, la plataforma Firebase para la base de datos y App Inventor para la aplicación móvil, lo cual aseguró que el sistema de monitoreo cumpliera con los requerimientos identificados.

La implementación de prototipos para realizar pruebas y capacitar a los agricultores en su uso permitió verificar el funcionamiento y conectividad del sistema.

La utilización de bases para los nodos sensores permitió ubicarlos de manera óptima en el cultivo, asegurando su visibilidad y aprovechando la radiación solar para recargar las baterías.

Los resultados de la encuesta indicaron que los agricultores están satisfechos con el funcionamiento del sistema de monitoreo de NPK; la aplicación móvil fue considerada fácil de usar y proporcionó información clara sobre los valores de NPK. Además, los agricultores valoraron positivamente la funcionalidad del sistema y recomendarían su uso a otros.

Referencias

[1] J. López, “Determinación de los requerimientos nutricionales de la piña variedad md2 en suelos ácidos del municipio de Santander de Quilichao,” Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 2017. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58735>

[2] ANFFE, “Importancia de los fertilizantes en la agricultura actual productiva y sostenible,” 2008. Available: <http://www.anffe.com/noticias/2008/2008-06-02%20La%20importancia%20de%20los%20fertilizantes%20en%20una%20agricultura%20actua>

[1%20productiva%20y%20sostenible/LA%20IMPORTANCIA%20DE%20LOS%20FERTILIZANTES.pdf](#)

[3] M. Khaydukova, D. Kirsanov, S. Sarkar, S. Mukherjee, J. Ashina, N. Bhattacharyya, S. Chanda, R. Bandyopadhyay, and A. Legin, "One shot evaluation of npk in soils by "electronic tongue"," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 186, p. 106208, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921002258>

[4] H. INSTRUMENTS, "Instrumentación en agricultura. agua de riego, hidroponía y suelo." Available: <https://www.drogallega.es/u/ficheros/representaciones/0x97FB417C167411E1B11983F6C49D8B77.10.pdf>

[5] G. K. Kumar, C. Rahul, and J. R. C, "Un marco novedoso para el monitoreo inteligente de cultivos usando internet de las cosas (iot)," in 2018 Primera Conferencia Internacional sobre Computación y Comunicación Cibernéticas Seguras (ICSCCC).

[6] M. Shylaja, SN y Veena, "Monitoreo en tiempo real del análisis de nutrientes del suelo usando wsn," in 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS).

[7] T. y. S. R. Madhumathi, R. y Arumuganathan, "Análisis de npk y humedad del suelo mediante redes de sensores inalámbricos," in 2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT).

[8] A. Archana, V. S. Sankari, and S. S. Nair, "An economically mobile device for the on-site testing of soil nutrients by studying the spectrum," Materials Today: Proceedings, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321042474>

[9] M. M. y R. Mohamad Syamim Aizuddin y S. Rosidah y J Zuriati, "Detección de nutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio (npk) del suelo mediante un transductor óptico," in 2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA).

[10] M. Masrie, A. Z. M. Rosli, S. Rosidah, J. Zuriati, and N. M. Khairi, "Sensor óptico integrado para la detección de nutrientes del suelo npk," in 2018 IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA).

[11] G. Lavanya, C. Rani, and P. Ganeshkumar, "An automated low cost IoT based fertilizer intimation system for smart agriculture," Sustainable Computing: Informatics and Systems, vol. 28, p. 100300, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210537918302567>

[12] K. Sanchez, "Diseño de un estimador no lineal para predecir el nivel de nitrógeno en suelo agrícola," Trabajo de grado - Pregrado, Universidad Catolica de San Pablo, Arequipa, Peru, 2018. Available: https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15668/1/SANCHEZ_MORA_KAT_EST.pdf

[13] C. Cav and A. Altın-Kayhan, "Coverage hole optimization with a mobile sensor in wireless sensor networks for smart grid," Ad Hoc Networks, vol. 140, 2023. Available: www.scopus.com