

# Implementación de un módulo de suelo para el monitoreo remoto de cultivos de alto rendimiento

Alejandra Gómez Parra  
*alejandrag10@javerianacali.edu.co*

**Resumen**—The monitoring of agricultural variables can improve technological processes and reduce time in measurement, facilitating farmers to control their crops, increasing productivity and improving products quality. The research institute in OMICS Sciences - iÓMICAS presented PhenoAgro as a high-performance phenotyping platform in order to optimize the data acquisition of individual plants and large crop plots, this platform is composed of the following modules: plant, power and communications module or MPPC, atmospheric variables module (rainfall, solar radiation, wind speed and direction, temperature and atmospheric humidity), motion module (motor voltage and current, linear position, radial position) and soil variables module (pH, conductivity, nitrogen, potassium, phosphorus, soil temperature and humidity).

This work proposes a low cost, high resolution and coverage module for the measurement of agricultural variables in high yield crops. For this purpose, the design and implementation of a remote monitoring module for the measurement of soil variables such as temperature and humidity. The system is located at level 5 in terms of TRL (Technology Readiness Levels); for this reason, it is being tested at the ÓMICAS institute located at the Pontificia Universidad Javeriana in the city of Cali. The project is oriented to the second sustainable development goal called *zero hunger*, which aims to end hunger and improve nutrition by promoting a more sustainable agriculture and ensuring food security. The proposed module is compatible with the MPPC of the PhenoAgro platform to visualize the information on the web platform.

**Palabras clave**—PhenoAgro, technification, ÓMICAS, phenotyping, agronomic, resolution, MPPC, food safety.

## I. INTRODUCCIÓN

Los principales retos de la humanidad para los próximos 50 años serán la energía, el agua, la alimentación, el medio ambiente y la pobreza. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la

seguridad alimentaria se da cuando todas las personas tienen acceso físico, social y económico a suficientes alimentos nutritivos para llevar una vida saludable y activa. Hoy en día, el mundo físico y el mundo virtual se encuentran conectados con el fin de facilitar la vida de las personas, dando lugar al concepto de Agricultura 4.0, un conjunto de tecnologías centradas en la digitalización de procesos agrícolas, haciendo uso de redes de sensores, métodos informáticos de alto rendimiento, computación en la nube y sistemas con el fin de contribuir al aumento de los índices de productividad, al uso eficiente de insumos, mejorar la calidad del trabajo y reducir el impacto medioambiental.

Sin duda, el objetivo no solo es producir mayor cantidad de alimentos, sino garantizar que los cultivos sean saludables. Un ejemplo exitoso del uso de este conjunto de tecnologías es la industria de la caña de azúcar, Cenicaña, que transformó sus procedimientos de siembra y cosecha en cinco departamentos ayudando a mejorar la productividad del campo colombiano.

El problema central consiste en que actualmente los sistemas usados para medir y monitorear cultivos tienen costos elevados, baja resolución espacial y baja cobertura, debido a que son de difícil mantenimiento, carecen de infraestructura, el número de dispositivos de sensado es bajo y los costos de implementación y escalamiento son altos. Por estas razones, se plantea el diseño, implementación y evaluación de un módulo de bajo costo, alta resolución y cobertura para la medición de variables de suelo como temperatura y humedad en cultivos de alto rendimiento con el fin de conocer el estado y evolución de los mismos con la posibilidad de visualizar la información de forma remota y mejorar la productividad.

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### II-A. Variables agrícolas

VARIABLES que intervienen significativamente en el éxito o fracaso del rendimiento y calidad de los cultivos. Conocer el comportamiento de las variables agrícolas permite determinar la técnica más adecuada en cada etapa de los procesos de cultivo y supervisión, haciendo uso eficiente y sostenible de los recursos requeridos [1].

### II-B. Agricultura de precisión

Conjunto de procedimientos y procesos que tienen como objetivo optimizar espacial y temporalmente el ciclo de vida de los cultivos haciendo uso de tecnología GPS, sensores, satélites e imágenes aéreas para evaluar con mayor precisión el estado del suelo y la producción de los cultivos [2].

### II-C. Temperatura

Propiedad física que indica el grado de frío o calor de los cuerpos o del entorno. La temperatura del suelo depende de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre, que, a su vez depende de factores como la pendiente del suelo, la cubierta vegetal, la compactación, la humedad y la intensidad de la radiación solar [3].

### II-D. Humedad

Cantidad total de agua que hay en los poros del suelo o en su superficie. El porcentaje de humedad depende de factores como el clima, el tipo de terreno y las plantas que en él habitan. Conocida la humedad se puede establecer la frecuencia de los riegos y la cantidad de agua aplicada para cada especie de planta [4].

### II-E. LoRa

Tecnología de comunicación inalámbrica que emplea modulación en radiofrecuencia logrando comunicaciones a largas distancias (kilómetros), además, es un sistema sólido frente a las interferencias y consume menor potencia en comparación con el WiFi [5].

### II-F. Protocolo RS485

Estándar de comunicaciones utilizado en aplicaciones de adquisición y control de datos. Permite incluir varios dispositivos RS485 en el mismo bus, lo que hace posible que varios nodos se conecten entre sí. Su principal función es transportar una señal a través de dos cables. Uno de los cables transmite la señal original y el otro transporta su copia inversa [6].

## III. METODOLOGÍA

El proyecto se dividió en 3 etapas: diseño, implementación y evaluación.

### III-A. Etapa de diseño

El desarrollo del módulo de suelo tiene en cuenta los siguientes requerimientos funcionales (disponer de un MPPC, medir temperatura y humedad de suelo, destinar puertos de expansión para futuros sensores y comunicarse a través de RS485) y No-Funcionales (Costo inferior a 100 USD, soportar condiciones ambientales desfavorables, equipo liviano, de fácil instalación y mantenimiento, visible para el usuario, sensores a prueba de agua y resistentes a corrosión, grado de protección IP64). La figura 1 presenta un diagrama de bloques del módulo de variables de suelo, desde la distribución de energía hasta el bus de comunicación (RS485).

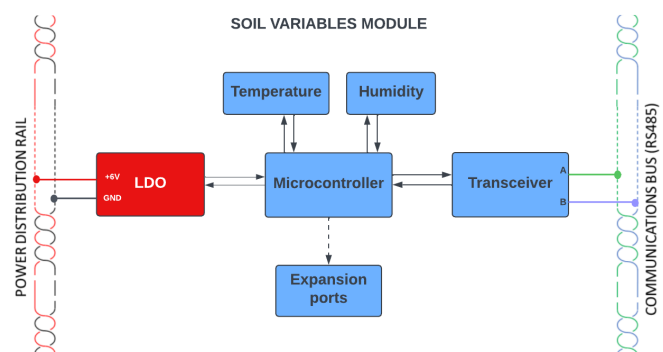


Figura 1. Diseño módulo variables de suelo. Fuente: Elaboración propia.

Los sensores se escogieron a partir de 4 criterios: precio (bajo costo), voltaje de alimentación (5V), protocolo de comunicación (1Wire - Salida analógica) y material (resistente a corrosión y agua).

El sensor de humedad de suelo SEN0193 y la sonda de temperatura de suelo DS18B20 fueron los utilizados en el proyecto. En el diagrama esquemático se integraron diodos schottky para proteger en caso de sobretensión y capacitores de Bypass para minimizar y eliminar el ruido. En el diseño de la placa de circuito impreso (PCB), los componentes fueron ubicados estratégicamente de manera que se maximice el rendimiento del circuito y se optimice el espacio disponible.

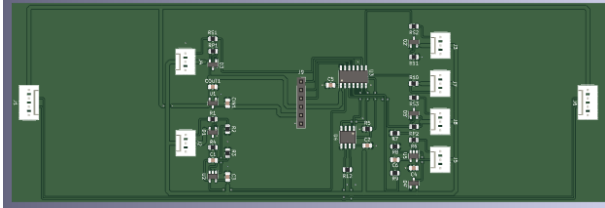


Figura 2. Diseño de PCB en KiCad. Fuente: Elaboración propia.

El diseño del firmware se construyó a partir del proyecto PhenoAgro del instituto de investigación en Ciencias Ómicas, el cual está basado en los protocolos de comunicación Modbus y CAN. Para el módulo de suelo se plantea la máquina de estados de la figura 3, la cual está compuesta por 4 estados: `Waiting_Sync`, `Validate_Header`, `Validate_Var` y `Send_Response`.

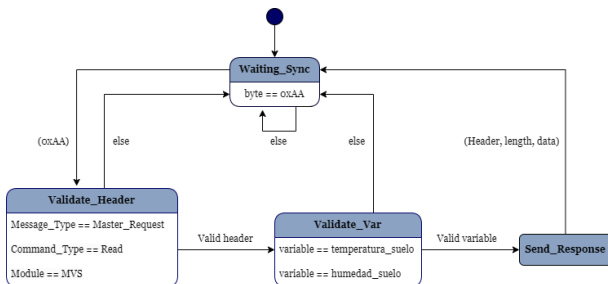


Figura 3. Máquina de estados. Fuente: Equipo desarrollo PhenoAgro.

### III-B. Etapa de implementación

Esta etapa comprende la implementación del firmware, llevar a código lo planteado en el diseño, las funciones de recibir y enviar bytes, organizar la trama de datos, la máquina de estados.

La PCB fue fabricada por la compañía Microcircuitos y tiene una longitud de 60mm x 180mm. Se utilizaron componentes de montaje superficial los cuales fueron soldados en el Centro de Automatización de Procesos de la Pontificia Universidad

Javeriana de Cali. Los componentes del sensor de humedad no son impermeables, por ende, se hizo un recubrimiento de esta zona con resina epóxica, la mezcla se convierte en un material sólido y duradero con propiedades aislantes y resistentes.

La tarjeta se ubica dentro de un tubo de PVC y encaja en una tapa de material nylon 12 fabricada en una impresora 3D con la técnica SLS (Sinterizado selectivo por láser). Los sensores se conectan a la tarjeta a través de un conector de 4 pines.



Figura 4. Ensamble PCB y sensores.

### III-C. Etapa de evaluación

Para verificar el correcto funcionamiento de los sensores de humedad y temperatura de suelo se hicieron pruebas en 4 entornos diferentes: suelo húmedo, suelo seco, agua sin hielo, agua con hielo.

En la primera prueba se insertaron los sensores en un recipiente con tierra mojada. En la segunda prueba se insertaron los sensores en un recipiente con tierra seca, adicionalmente, el recipiente fue puesto en el microondas para comprobar que la temperatura del sensor aumenta y que la humedad disminuye en comparación con el suelo húmedo. Otra de las demostraciones fue introducir los sensores en un recipiente con agua, esto para confirmar que la temperatura disminuye y que la humedad aumenta en comparación con el suelo húmedo y el suelo seco. Para la cuarta demostración se dejaron los sensores dentro del recipiente con agua y se añadieron algunos cubos de hielo.

#### IV. RESULTADOS

Al garantizar el buen funcionamiento del prototipo en el plan de pruebas, se procedió a conectar el módulo de suelo con el MPPC y así validar la comunicación a través del protocolo RS485.



Figura 5. Módulo de suelo conectado al MPPC de PhenoAgro.

El prototipo final logra la comunicación con el módulo de potencia del instituto de investigación en Ciencias Ómicas y es capaz de medir variables como temperatura de suelo y humedad de suelo, adicionalmente, la información puede verse de forma remota en la plataforma web de PhenoAgro.

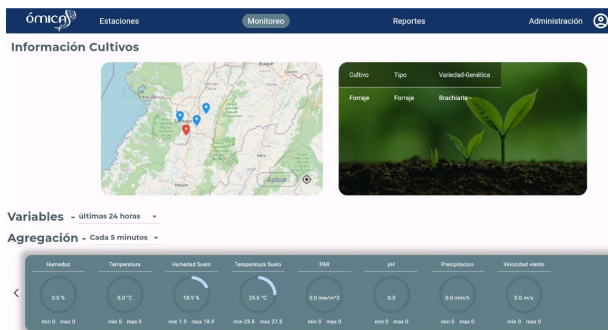


Figura 6. Vista de la plataforma. Fuente: Plataforma web de PhenoAgro.

La figura 7 contiene información sobre la energía del MPPC: el voltaje y corriente de batería, la corriente de celdas y el Voltaje StepUp. Esta información es importante al momento de calcular el consumo total del sistema. Se realizó una prueba que duró 20 horas aproximadamente y el módulo aún tenía 76 % de batería.

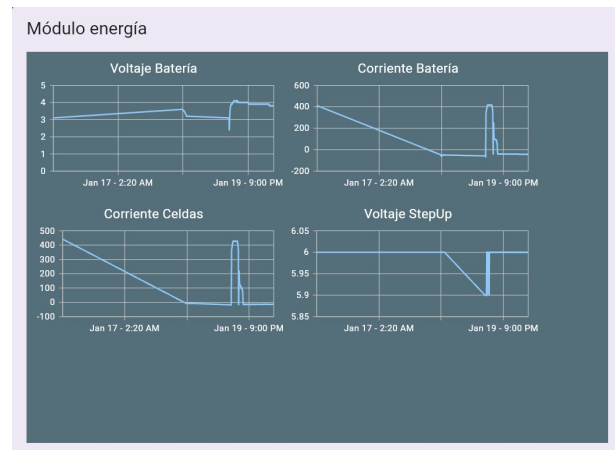


Figura 7. Información módulo de energía. Fuente: Plataforma web de PhenoAgro.

En la plataforma, al seleccionar cualquier variable se muestra una gráfica de tendencia a medida que va tomando datos, al escoger la variable temperatura de suelo la gráfica a mostrar a lo largo del tiempo es la siguiente:



Figura 8. Gráfica de tendencia temperatura de suelo. Fuente: Plataforma web de PhenoAgro.

A continuación, el cuadro de costos para el desarrollo del prototipo del módulo de suelo:

Cuadro I

COSTOS DEL PROTOTIPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

| Producto                 | Precio (COP) | Precio (USD) |
|--------------------------|--------------|--------------|
| Sensor temperatura suelo | \$37.700     | \$9.45       |
| Sensor humedad suelo     | \$10.400     | \$2.61       |
| PCB                      | \$120.000    | \$30.07      |
| Transceiver RS485        | \$5.000      | \$1.27       |
| Resina                   | \$27.000     | \$6.83       |
| Conector 4 pines         | \$12.000     | \$3.04       |
| Tubo PVC                 | \$6.300      | \$1.6        |
| BOM                      | \$36.403     | \$9.13       |
| Total                    | \$254.803    | \$64         |

A partir del diagrama esquemático y las hojas de datos de los componentes es posible calcular el consumo de corriente de la tarjeta. Cabe destacar que la conexión de componentes como el sensor de temperatura de suelo y el sensor de humedad de suelo no consumen corriente. En el cuadro II se encuentra el consumo promedio de la PCB.

Cuadro II  
CORRIENTE CONSUMIDA POR LA PCB. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

| Componente | Valor típico | Valor máximo | Unidades |
|------------|--------------|--------------|----------|
| LM321      | 0.09         | 0.16         | mA       |
| THVD1400   | 0.627        | 0.641        | mA       |
| AP2120     | 0.025        | 0.05         | mA       |
| ATtiny 404 | 9            | 9            | mA       |
| Total      | 9.742        | 9.851        | mA       |
| Promedio   | 9.7965       |              | mA       |

## V. CONCLUSIONES

Actualmente, los sistemas utilizados para medición de variables agrícolas son costosos y limitados en su alcance. Es en este contexto que se desarrolló un módulo de suelo que busca abordar aquellas limitaciones al ofrecer una alternativa más asequible, práctica y escalable. Al replicar esta plataforma en múltiples ubicaciones, se logra una mayor resolución y cobertura.

La concepción del diseño del módulo se formuló considerando que se debían destinar unos puertos de expansión para añadir futuros sensores. Desde la selección de los sensores y componentes se tuvo en cuenta que no debían sobrepasarse en costos, dando lugar a un prototipo con un valor de \$64 USD. Debido a que el módulo de suelo necesita de un módulo de potencia y comunicaciones, la PCB fue diseñada para que los módulos se puedan comunicar a través del estándar de comunicaciones RS485, específicamente con el MPPC del proyecto PhenoAgro. La implementación del módulo inició con la tarea de soldar los componentes en la PCB. Se logró la transmisión y recepción de los datos. Tanto los requerimientos funcionales como los No-Funcionales se cumplieron con éxito: grado de protección IP64, sensores a prueba de agua y resistentes a la corrosión, dispositivo visible para el usuario, es liviano, práctico, de fácil instalación y mantenimiento.

La evaluación del módulo diseñado ha confirmado su funcionalidad con el objetivo de conocer el estado y la evolución de los cultivos visualizando las mediciones de humedad de suelo y temperatura de suelo en la plataforma web de PhenoAgro con un tiempo de muestreo de 15 minutos. Proporcionar información sobre variables agrícolas convierte a la tecnología en una herramienta indispensable para el éxito y la sostenibilidad de los agricultores, los cuales pueden tomar decisiones que optimicen el rendimiento de sus cultivos. Además, mediante programas o iniciativas gubernamentales, se puede brindar la oportunidad a agricultores de todos los tamaños y recursos para beneficiarse de estas herramientas, permitiéndoles competir en el mercado y mejorar su productividad. Con sistemas de medición más asequibles, incluso personas con pequeñas huertas o terrenos pueden aprovechar estas tecnologías para mejorar sus prácticas agrícolas y obtener mejores resultados en sus cultivos.

## VI. REFERENCIAS

- [1] S. I. O. Duque, "Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos.," *Revista vector*, vol. 12, págs. 51-60, 2017.
- [2] G. P. Castaño Esquivel et al., "Monitoreo de la temperatura superficial de la lechuga en un cultivo urbano empleando el sensor AMG8833," 2018.
- [3] D. S. G. Araque, M. C. V. Sarmiento y J. P. Corredor, "Caracterización de Temperatura y Humedad de Suelos agrícolas," *Letras Conciencia Tecnológica*, n.º 16, págs. 24-31, 2017.
- [4] proain, *La humedad del suelo y como monitorearla*, sep. de 2021. dirección: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-humedad-del-suelo-y-como-monitorearla>.
- [5] M. Cardenas, D. González y C. Retamal, *Protocolo LoRa para implementación de redes IoT en smart cities*. Dic. de 2018. dirección: [http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo323.ipd438/2s18/projects/reports/RetamalCardenasGonzalez/Informe\\_Lora.pdf](http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo323.ipd438/2s18/projects/reports/RetamalCardenasGonzalez/Informe_Lora.pdf).
- [6] O. Weis, *Guía de la comunicación RS485*, oct. de 2021. dirección: <https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/>.