

# Prototipo Robótico para el Monitoreo de Conductividad, Humedad y Temperatura en Suelos Agrícolas

Carlos Robles-Algarín, PhD<sup>1</sup>, Nelson Piraneque, PhD<sup>1</sup>, Álvaro Rodríguez, Eng<sup>1</sup>, and Jorge Navarro, Eng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Magdalena, Colombia, croblesa@unimagdalena.edu.co, npiraneque@unimagdalena.edu.co, alvaroluisrodriguez05@gmail.com, jorge.navarro015@gmail.com

**Resumen—** En este artículo se presenta el diseño e implementación de un prototipo robótico móvil, el cual tiene como función monitorear de forma remota parámetros de conductividad, humedad y temperatura en suelos agrícolas, con el fin de servir como herramienta para facilitar el proceso de estudio de salinidad de suelos. Para este propósito se implementó una estructura mecánica, un sistema de procesamiento y un módulo de comunicación inalámbrica con Xbee. Las variables fueron medidas con el sensor Decagon 5TE, procesadas con un Arduino nano y posteriormente enviadas vía Ethernet a la plataforma Ubidots. Los resultados obtenidos demuestran la funcionalidad del prototipo, el cual puede ser operado de forma inalámbrica por un operario para la medición de los parámetros del suelo.

**Palabras clave—** Conductividad, humedad del suelo, temperatura del suelo, prototipo robótico, medición en suelos agrícolas.

## I. INTRODUCCIÓN

Según el monitoreo y seguimiento del estado de la calidad de los suelos realizado en 2015 por el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales-IDEAM [1], en Colombia un 5% de los suelos equivalente a 5.639.245 hectáreas y un 28,6% equivalente a 32.658.873 hectáreas, presentan una susceptibilidad alta y media respectivamente de degradación por salinización. Esto provoca la disminución de la fertilidad del suelo para la producción de cultivos, afectando la productividad del sector agrícola en el país.

Los procesos de degradación más relevantes en Colombia corresponden a la erosión, sellamiento de suelos, contaminación, pérdida de la materia orgánica, salinización, compactación y desertificación; procesos que afectan a las regiones Caribe, Andina y Orinoquia, y que comienzan a notarse en la Amazonia y en el litoral Pacífico [2].

Debido a la infertilidad que produce la salinización en los suelos donde se realizan actividades agrícolas, regularmente se realizan estudios para diagnosticar el nivel de salinidad. Este proceso tiende a ser realizado de forma manual mediante un conductímetro, necesitando personal de trabajo que se encargue de realizar esta labor [3].

Con el fin de realizar un aporte que permita hacer más eficiente el proceso de estudio del suelo, en este trabajo se diseñó e implementó un prototipo robótico móvil para monitorear en tiempo real parámetros relacionados con la degradación del suelo como lo son la conductividad eléctrica,

temperatura y humedad. Este robot busca reducir el tiempo de toma de muestras sobre el suelo.

Con la implementación final de este prototipo se busca obtener con más precisión y rapidez la información que permita al agricultor tomar las decisiones necesarias para prevenir o mejorar las condiciones del suelo, reduciendo la tasa de infertilidad ocasionada por esta afectación. Esto beneficia directamente al agricultor reduciendo tiempo de trabajo, costos de recurso humano y de maquinaria necesaria para realizar el estudio manualmente, individualizando puntos donde se presenta la salinidad y así encontrar los motivos por los cuales se produce la degradación del suelo.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El prototipo está estructurado con dos bloques principales, las cuales se comunican de forma bidireccional (Ver Figura 1). La primera etapa, Agrobot Móvil, está ubicada directamente en el campo de trabajo para tomar las mediciones. Luego de obtener las mediciones, son enviadas a la segunda plataforma denominada Estación Agrobot para ser visualizadas por el usuario.

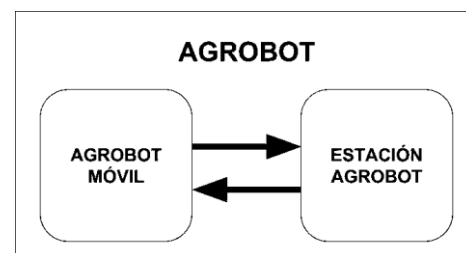


Fig.1 Diagrama de bloques general del prototipo Agrobot.

### A. Agrobot Móvil

El prototipo de Agrobot móvil está compuesto por la estructura mecánica y eléctrica del robot, un sistema electrónico para la medición de los sensores, un sistema de posicionamiento global (en construcción), un sistema de comunicación inalámbrica y un sistema central de procesamiento. Ver Figura 2.

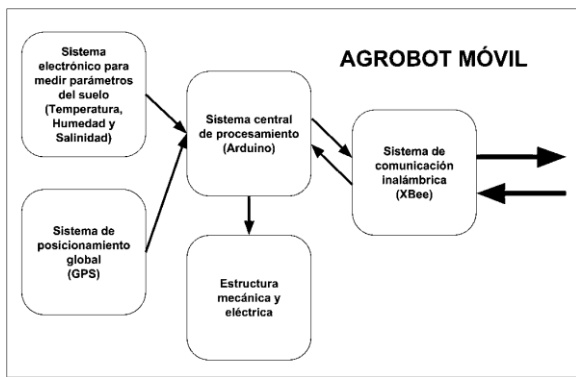


Fig.2 Diagrama de bloques del Agrobot Móvil.

El diseño y construcción del sistema electromecánico está dividido en 2 subestructuras principales las cuales son: el sistema de tracción y el sistema de inyección mecánica.

El sistema de tracción está soportado sobre una plataforma principal y se encarga del desplazamiento del robot a través del terreno. Este sistema incorpora motorreductores de 12 kg/cm a 200 rpm y llantas todoterreno de 12.7 cm de diámetro por 6 cm de ancho. Para regular la corriente de los motores se utilizaron los drivers L298N [4].

El sistema de inyección mecánica se utilizó para el desplazamiento e inserción del sensor de medición en el suelo. Este sistema incorpora dos motores paso a paso Nema 17 de 5 kg, dos varillas roscadas, dos drivers TB6560 y dos sensores finales de carrera [5]. Ver Figura 3.

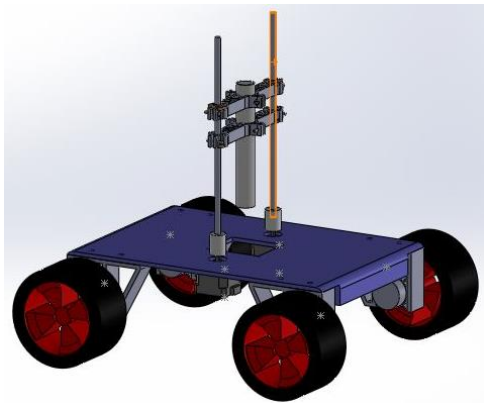


Fig. 3 Diseño 3D de la estructura eléctrica y mecánica.

Además, este mecanismo cuenta con un sensor Decagon 5TE para obtener parámetros físicos y químicos del suelo, humedad, temperatura y conductividad. Esta última variable fue utilizada para estimar la salinidad presente en el terreno. Para el procesamiento de las señales obtenidas por el sensor, se utilizó un Arduino Nano V3.0 FT232, con conexión a través del protocolo SDI-12. Ver Figura 4.

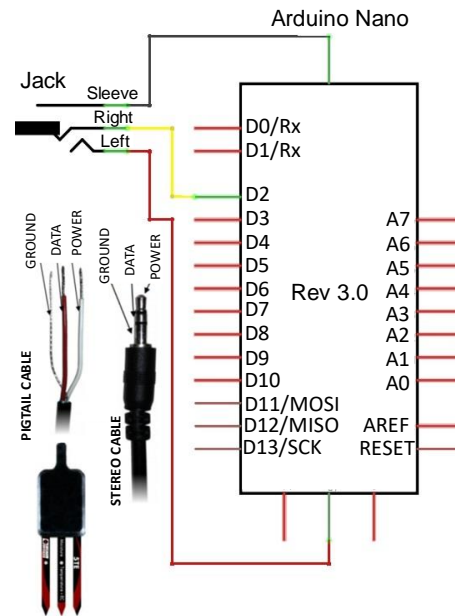


Fig. 4 Esquemático del sistema electrónico del sensor 5TE.

Para la comunicación inalámbrica del Agrobot móvil con la Estación Agrobot, se utilizó un módulo Xbee Pro S3B configurado de forma bidireccional [6], con el fin de recibir la distancia a recorrer ordenada por el usuario y transmitir los parámetros medidos del suelo. La comunicación entre los Xbee y el Arduino nano se realizó por medio del protocolo serial.

### B. Estación Agrobot

La estación cuenta con un sistema de comunicación inalámbrica, un sistema de conexión a internet, una interfaz gráfica en tiempo real y un sistema central de procesamiento. Ver Figura 5.

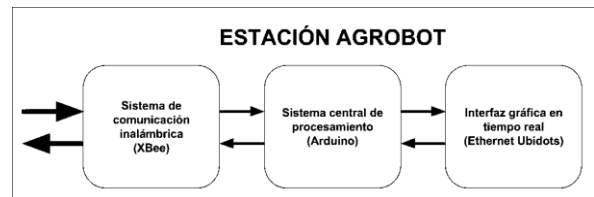


Fig. 5 Diagrama de bloques de la Estación Agrobot.

Para este sistema se utilizó un módulo Xbee pro S3B configurado de forma bidireccional para recibir los datos enviados por el Xbee del Agrobot Móvil. Para el control de este dispositivo se utilizó un Arduino Nano V3.0 FT232.

Además, se utilizó un módulo Ethernet W5100 para subir a internet los datos recibidos por el Xbee de la Estación Agrobot. Para el control de este dispositivo se utilizó un Arduino Nano V3.0 FT232 utilizando las librerías SPI y Ethernet de Arduino. Ver Figura 6.

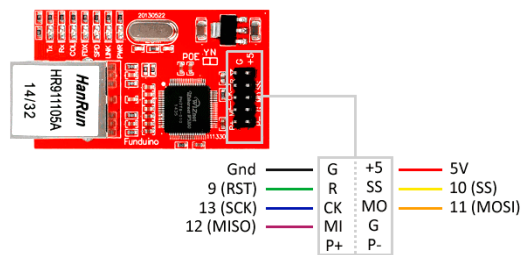


Fig. 6 Diagrama esquemático del sistema de conexión ethernet.

Para la interfaz gráfica se utilizó la plataforma Ubidots Education [7]. Se utilizaron widgets de mapas prediseñados por esta herramienta, con el fin de facilitar el proceso de visualización de la información (Ver Figura 7). Además, se diseñó un widget con la herramienta HTML Canvas para enviar el dato de la distancia a recorrer por el prototipo Agrobot Móvil.



Fig. 7 Widget utilizado para la conductividad eléctrica.

En la Figura 8 se muestra el circuito implementado para la Estación Agrobot.



Fig. 8 Circuito final de la Estación Agrobot.

### III. RESULTADOS

Luego de acoplar todas las etapas se obtuvo como resultado el prototipo Agrobot de prueba que se muestra en la Figura 9.



Fig. 9 Prototipo implementado para el Agrobot.

Para las primeras pruebas de campo se seleccionó una parcela en la granja de la Universidad del Magdalena, donde se realizaron mediciones durante tres días seguidos, en horarios entre las 15:00 y 19:00 horas, para evaluar el desempeño y autonomía del prototipo Agrobot y validar los resultados obtenidos a través de la interfaz gráfica. Para llevar a cabo estas mediciones, se realizaron labores de regado y arado del terreno cada día.

Se realizaron 20 mediciones diariamente, con lo que se obtuvieron los resultados mostrados. En las Figuras 10, 11 y 12, se muestran los resultados obtenidos para las tres variables de estudio en el día 2, las cuales se muestran en ds/m, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> y °C respectivamente. Durante estas pruebas iniciales el robot realizó recorridos de máximo 20 metros.

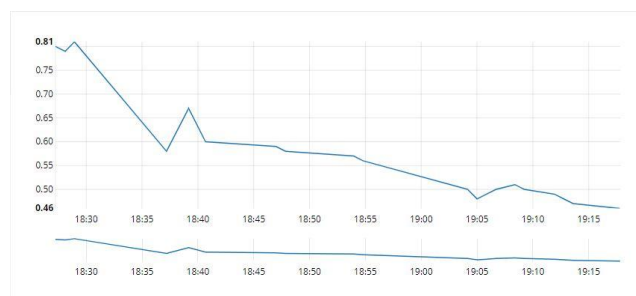


Fig. 10 Mediciones de conductividad eléctrica.



Fig. 11 Mediciones de contenido volumétrico de agua.

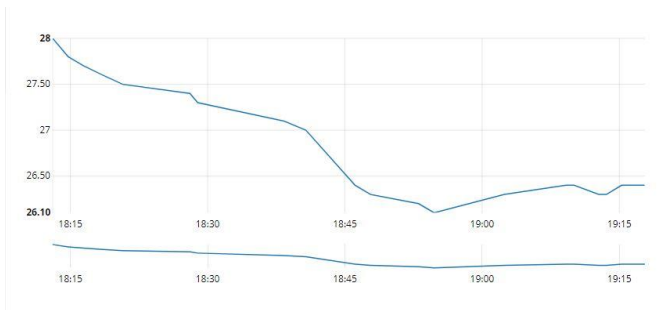


Fig. 12 Mediciones de temperatura.

De la Figura 10 se puede apreciar como en diferentes puntos de una misma parcela existe una gran variación de la conductividad eléctrica, siendo este el parámetro esencial para determinar la salinidad presente en el suelo.

En la Figura 11 se observa que se presentan mayores niveles de contenido volumétrico de agua en algunos puntos de la parcela, lo cual se debe a que se encuentran alrededor del área de regado de los aspersores. Finalmente, en los datos de temperatura de la Figura 12 se puede apreciar una variación mínima en cuanto a la temperatura, lo cual dependen del punto de la parcela donde se realizó la medición.

#### IV. CONCLUSIONES

Luego de finalizar esta primera etapa del trabajo, se logró implementar un prototipo de robot (Agrobot) que permite monitorear la conductividad, humedad y temperatura de suelos agrícolas. El prototipo se puede operar y monitorear por un usuario, a través de una comunicación inalámbrica con los módulos Xbee. Los datos recolectados son enviados a la nube y visualizados a través de la plataforma de Ubidots. Como trabajo futuro el prototipo será complementado con un sistema GPS con brújula y giroscopio para implementar un modo autónomo, el cual las variables serán almacenadas en la memoria del robot. Además, se implementará un sistema de amortiguamiento y suspensión para facilitar la tarea del robot en terrenos irregulares. Se utilizará el sensor Decagon GS3 que cuenta con agujas de acero inoxidable, las cuales permiten trabajar con mayor facilidad en cualquier tipo de suelo y tiene un área superficial extendida para optimizar las mediciones. En la etapa final se implementarán pruebas de toma de muestras en diferentes profundidades, seguimiento de rutas, confiabilidad de la comunicación inalámbrica y del sistema autónomo. Finalmente, se realizará un estudio de costos para establecer las bondades del prototipo.

#### REFERENCIAS

- [1] Susceptibilidad de los suelos a degradación por salinización, IDEAM. [http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/suelo/SUSCEPTIBILIDAD\\_SALINIZACION\\_EN%20COLOMBIA.pdf](http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/suelo/SUSCEPTIBILIDAD_SALINIZACION_EN%20COLOMBIA.pdf).
- [2] Suelos en Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. <http://www.siac.gov.co/sueloscolombia>.

- [3] M. Cuellas, P. Amoia y P. Delmazzo, "Efecto de diferentes tratamientos de desinfección del suelo sobre las propiedades edáficas," *Chil. j. agric. anim. sci.*, vol. 35, no. 1, pp. 26-37, mayo 2019.
- [4] C. Robles-Algarín, W. Echavez y A. Polo, "Printed Circuit Board Drilling Machine Using Recyclables," *Electronics*, vol. 7, no. 10, pp. 240, October 2018.
- [5] C. Del Toro, C. Robles-Algarín y O. Rodríguez-Álvarez, "Design and Construction of a Cost-Effective Didactic Robotic Arm for Playing Chess, Using an Artificial Vision System," *Electronics*, vol. 8, no. 10, pp. 1154, October 2019.
- [6] J. Guillot, C. Robles y J. Callejas, "Adquisición de Señales Ambientales para un Sistema de Alerta Temprana," *Información Tecnológica*, vol. 28, no. 5, pp. 45-54, octubre 2017.
- [7] IoT platform Internet of Things, Ubidots. <https://ubidots.com/>.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).