



Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



VISIÓN INVESTIGADORA

Diseño prototipo de una red de sensores inalámbricos

Prototype Design of a Network Wireless Sensors

Andrés Felipe Calvo Salcedo.¹, Arley Bejarano Martínez.², Andrés Castillo González.³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 13/09/2017

Recibido: 23/11/2017

Aceptado: 22/01/2018

Palabras clave:

Beaglebone Black
Cámaras
Red de sensores inalámbricos
Sensores.

Open access



Keywords:

Beaglebone Black
Cameras
Wireless sensor network
Sensors.

RESUMEN

La red de sensores inalámbricos es una tecnología innovadora que ha tenido grandes impactos en el campo de la ingeniería, en los últimos años ha permitido desarrollos tecnológicos enfocados a la agricultura de precisión. En este artículo se describe la investigación que condujo al diseño de una red de multisensores inalámbricos de bajo costo para el registro y monitoreo de las variables sobre el estado de un cultivo, utilizando tarjetas de desarrollo Beaglebone Black, donde se han integrado sensores de temperatura, humedad relativa, humedad de suelo y cámaras digitales. La información adquirida se transmite —con el protocolo de comunicación inalámbrica *Wireless Local Area Network* (WLAN)— a un servidor central, permitiendo obtenerse un registro y control en una base de datos creada en Mysql con sistema operativo Linux. Los resultados de este trabajo permiten observar la confiabilidad y el consumo energético del equipo.

ABSTRACT

The wireless sensor network is an innovative technology that has had great impacts in the field of engineering and in recent years has allowed technological developments focused on precision agriculture. This paper presents the results research lead to design a network of low cost wireless multisensors for the recording and monitoring of the state variables of a crop using Beaglebone Black development cards integrating with sensors of temperature, relative humidity, soil moisture and cameras Digital images. The acquired information is transmitted with wireless local area network (WLAN) communication protocol to a central server allowing to obtain a registry and control in a database, created in MYSQL with Linux base operating system. The results of this work show the reliability and energy consumption of the equipment.

¹Ingeniero electrónico; magíster en Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación de Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: acalvo@utp.edu.co

²Ingeniero electrónico, Universidad Tecnológica de Pereira. Candidato a magíster en Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación de Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: abejarano@utp.edu.co

³Ingeniero electrónico, Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación de Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: acastillo@utp.edu.co

1. Introducción

La agricultura es una de las actividades más importantes para el desarrollo económico y social del país, debido a que se cuenta con múltiples ecosistemas que ofrecen diversas oportunidades de mercado, además de contar con tratados de libre comercio que impulsan el mercado agrícola. Aunque estas oportunidades suponen ser una ventaja para el desarrollo del agro colombiano, el alto costo tecnológico y poca capacitación de los agricultores impide una competencia con estándares de calidad internacional [1–5].

En la actualidad, se han desarrollado áreas de la ingeniería como la agricultura de precisión, la cual tiene como filosofía el manejo óptimo de los cultivos utilizando diferentes tipos de tecnología, entre ellas las redes de sensores inalámbricas (WSN, por su siglas en inglés) [6,7]. Una red consiste en la implementación de dispositivos distribuidos (nodos), espaciados y autónomos que posibilitan la adquisición de diferentes variables físicas como la temperatura, la humedad, imágenes digitales, entre otras [8–13]. La información de las señales medidas se transmite a un servidor central con el fin de realizar un registro, monitoreo o control sobre las variables de estado de un sistema [14–16]. Aunque, estas redes facilitan el desarrollo en diferentes aplicaciones, la conexión de múltiples sensores genera un alto consumo energético por su procesamiento. La actual proliferación de técnicas de visión por computador, ha permitido incluir en aplicaciones de agricultura las cámaras digitales como elemento sensor, esto ha generado la facilidad de incluir actividades de inspección visual de forma automática; ejemplos de lo anterior son el cálculo del estrés hídrico, la detección de severidad enfermedades en frutos, la visualización de zonas verdes, el estado de maduración de frutos, entre otras [2–5]. Aunque las cámaras facilitan este tipo de actividades, la inclusión de tales sensores en cultivos representa un reto, debido a que la estructura de datos de una imagen es compleja y se requiere de un importante costo computacional, lo que limita el uso de dispositivos de procesamiento de bajo costo como Arduino u otros tipos microcontroladores. Sin embargo, en la actual proliferación de dispositivos de procesamiento, se han creado nuevas tecnologías como los computadores embebidos (Raspberry Pi y Beaglebone Black) que permiten la interconexión de cámaras y otros sensores permitiendo el desarrollo de nuevos sistemas de adquisición de datos.

En este trabajo de investigación se presenta el diseño de un sistema de adquisición de datos multisensor (sensor de temperatura, humedad relativa, humedad de

suelo y cámara USB) con tecnología de comunicación inalámbrica WLAN, utilizando el sistema embebido Beaglebone Black. La información adquirida es guardada en un servidor central permitiendo obtener el registro y control del estado del cultivo para el agricultor.

Las WSN han demostrado ser una herramienta útil para múltiples aplicaciones de ingeniería, para su diseño se han utilizado diferentes dispositivos y sensores dependiendo de la aplicación en la que se requieren. Dentro de los diferentes trabajos que se han desarrollado usando redes multisensor se cuentan, entre otros, los mencionados a continuación. En la Universidad Nacional de Colombia —2014— se realizó el diseño e implementación de una WSN usando protocolo 6LoWPAN (adaptación entre el IPv6 y IEEE 802.15.4) y el protocolo de enrutamiento RPL (siglas del inglés *Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks*), obteniéndose un sistema de monitoreo genérico capaz de adaptar diferentes tipos de sensores y la capacidad de interconectar una cantidad de nodos. Este sistema fue empleado en un cultivo urbano con sensores de luminosidad, temperatura y humedad [9].

Por otra parte, en la Universidad Politécnica de Cartagena en España —a mediados de 2010— se propuso una arquitectura general de WNS para el monitoreo de cultivos hortícolas, implementado por medio del protocolo de acceso al medio B-MAC (siglas del inglés *Berkeley Medium Access Control*) donde se aseguró un alto grado de autonomía del nodo; además, utilizaron varios sensores especializados (Soil-Mote, Environmental-Mote y Water-Mote). Al final, este sistema se implementó en un cultivo real para verificar y validar los resultados obtenidos [10].

Igualmente, en Chennai, India, en el 2014, se realizó una WSN que permitió automatizar un sistema de riego en un cultivo, optimizando el uso del agua; tal sistema contiene sensores de humedad de suelo y temperatura colocados en el campo del cultivo, controlados por un microcontrolador y comunicándose por el protocolo Zig Bee, además, se diseñó un algoritmo que permite controlar la cantidad de agua. El sistema utiliza un panel solar como alimentación, una interfaz celular-internet para la inspección de los datos y una cámara inalámbrica que se fija en el campo para controlar el área de enfermedades mediante técnicas de procesamiento de imágenes. El sistema obtenido es de bajo costo y de energía autónoma para áreas geográficamente aisladas y limitadas [11].

En la Universidad Nirma, en Ahmedabd, India, hacia 2015, se realizó la implementación de un sistema

de telemedicina a bajo costo, integrando la detección, almacenamiento y difusión de diversos parámetros biomédicos de los pacientes de un hospital, utilizando sensores biomédicos, una unidad de computación (BeagleBone Black) bajo *software* libre Linux, Apache Server, Mysql y PHP, el sistema desarrollado satisfizo el objetivo de mejorar la atención a los pacientes [12].

Finalmente, en Colombia en la Universidad del Cauca —2013—, se realizó el diseño de una WSN para la agricultura de precisión en cultivos de café, aplicando el estándar IEEE 802.15.4. Tal arquitectura consistió en tres nodos que utilizan sensores para temperatura y humedad del suelo, temperatura de las hojas, radiación solar y flujo fotosintético usando un radio XBee 802.15.4; el nodo coordinador posee una estación climatológica y un modem GSM (siglas del inglés *Global System for Mobile Communications*) que se encarga de enviar la información a un servidor central. El diseño presentó un buen desempeño al transmitir satisfactoriamente los datos al servidor localizado en la ciudad de Popayán, Colombia [17].

El documento se estructura de la siguiente manera: inicialmente se establece el desarrollo de la propuesta describiendo los materiales y métodos usados en el sistema de adquisición de datos para medir variables físicas del cultivo como temperatura, humedades e imágenes del cultivo, una red de sensores con topología tipo estrella para la transmisión de la información y el almacenamiento en un servidor central; luego se describen los resultados arrojados de las pruebas del prototipo la funcionalidad del equipo y la recepción de la información de los nodos; después se realizaron pruebas de confiabilidad para distancia, consumo energético y durabilidad del sistema; finalmente, se establecen las conclusiones.

2. Materiales y métodos

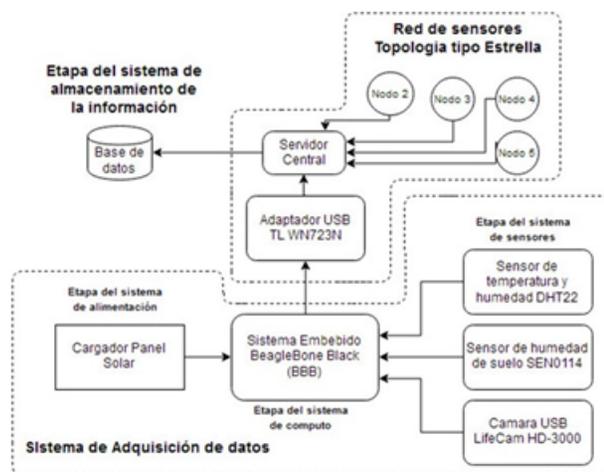
La metodología implementada para el desarrollo del trabajo propuesto se describe en el diagrama de bloques de la Figura 1, donde se observa una metodología modular para la construcción del sistema. Las etapas se conforman por sistema de adquisición de datos que tienen como objetivo medir variables físicas del cultivo como temperatura, humedades e imágenes del cultivo, una red de sensores con topología tipo estrella para la transmisión de la información y el almacenamiento en un servidor central.

2.1. Sistema de adquisición de datos

Para el diseño del sistema de adquisición se utilizaron diferentes dispositivos que permiten obtener la medición

de las variables de temperatura, humedad relativa, humedad de suelo y una imagen, donde están conectadas a un sistema de cómputo alimentado por un cargador solar.

Figura 1: Diagrama de bloques de las etapas conformadas por nodo 1 de la WSN y la topología utilizada para la conexión entre los otros.



Fuente: elaboración propia.

2.1.1. Etapa del sistema de sensores

- DHT22

Inicialmente se realizó un algoritmo que permitió el funcionamiento del sensor DHT22, de temperatura y humedad relativa, en la Beaglebone Black por medio un puerto de entrada/salida de propósito general (GPIO, por sus siglas en inglés), debido a que no se requiere diseñar un acordonamiento porque este sensor adquiere y codifica la información de la temperatura y humedad relativa en una señal TTL de un solo bus.

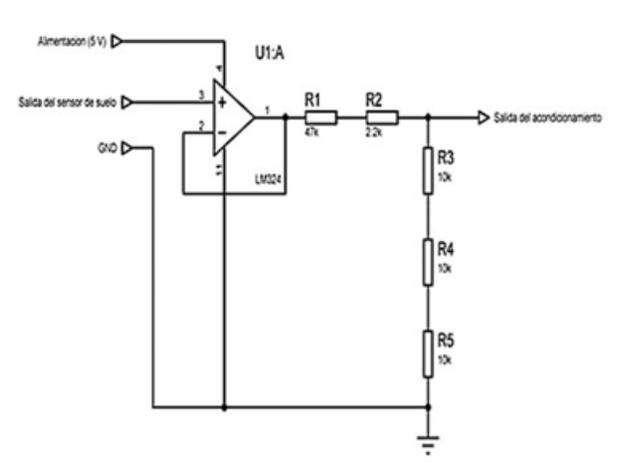
- SEN0114

Para el sensor de humedad de suelo SEN0114, se diseñó el acondicionamiento con un amplificador operacional alimentada desde Beaglebone Black y en configuración como seguidor de tensión para acoplar la impedancia del sensor (Figura 2). La salida del amplificador esta conecta a un divisor de tensión (1), permitiendo que la máxima tensión del sensor este en el rango de 0 a 1.6 V; por último, la salida del divisor se conecta al convertidor análogo-digital (ADC, por sus siglas en inglés) de un pin de la Beaglebone Black. Con el diseño completado, se realizó el montaje de este circuito (Figura 3) en una placa de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés) de doble capa. Luego, para adquirir la información de este sensor, se realizó un código para el funcionamiento

del ADC de la Beaglebone Black.

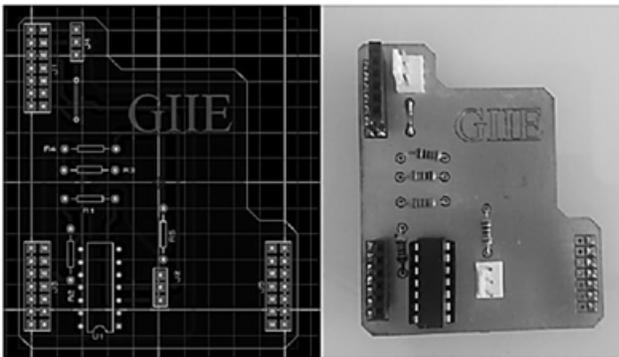
$$V_{out} = \frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} * V_{in} \quad (1)$$

Figura 2: Circuito de acondicionamiento para el sensor SEN0114.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3: Circuito de acondicionamiento para el sensor SEN0114 montado en PCB con conectores para la Beaglebone Black y el sensor DHT22.



Fuente: elaboración propia.

- LifeCam HD-3000

Para la cámara LifeCam HD-3000 USB se usó la librería Highgui de Opencv, donde su código abierto permite el diseño de aplicaciones enfocadas en la visión por computador y aprendizaje máquina en cualquier tipo de sistema operativo para procesadores ARM (siglas del inglés *Advanced RISC Machine*) [18] como la Beaglebone Black, permitiendo adquirir la imagen y guardarla en un formato para luego ser transmitida a la base de datos.

2.1.2. Etapa del sistema de alimentación

Para la alimentación se utilizó un cargador de panel solar con salidas de USB. Cada panel alimentará un Beaglebone Black por medio de un cable USB con un conector *jack* y un núcleo de ferrita (material magnético), permitiendo filtrar corrientes de alta frecuencia producidos por ruidos eléctricos externos y manteniendo la eficiencia de este cable sea la máxima posible; de esta forma, el sistema no dependerá de una fuente local como tomas de energía.

2.1.3. Sistema de cómputo

La BeagleBone Black es un sistema embebido de bajo costo, consumo energético entre 200 a 500 mA y tiene filosofía de *open source software y hardware* para realizar múltiples aplicaciones en la ingeniería. Este sistema contiene múltiples periféricos como puertos GPIO, ADC, PWM (siglas del inglés *Pulse-Width Modulation*), conexión de diferentes dispositivos por medio de USB, entre otras; además, tiene la característica de procesar información a altas velocidades y contiene un sistema operativo base Linux, por defecto Debian 7.5. Debido a las características de este sistema, se seleccionó para realizar el diseño del prototipo de la WSN, ya que permite conectar múltiples sensores y diferentes dispositivos, como cámaras USB, permitiendo una alta velocidad de procesamiento y transmisión de la información por medio de WLAN.

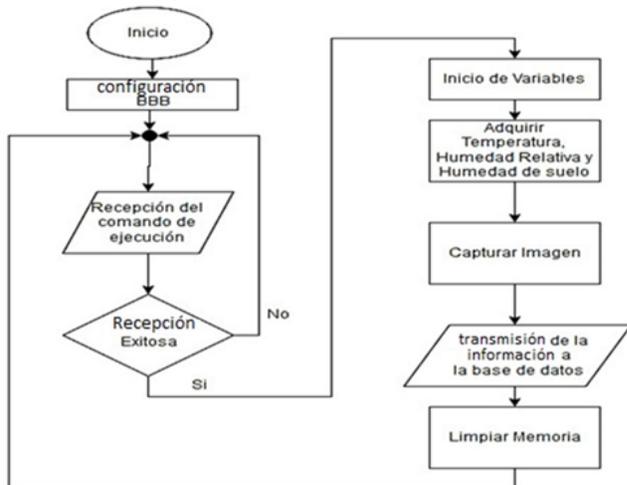
Cada nodo contiene una Beaglebone Black con las librerías necesarias que permite realizar la adquisición de la información de los sensores mediante un algoritmo (Figura 4). Cuando la Beaglebone Black inicia, este prepara los dispositivos que estén conectados por sus periféricos y por el puerto USB; luego de terminar su configuración, se inicia el proceso en espera de la recepción del comando que es transmitido por el servidor central. Cuando es exitosa la recepción, este empieza a ejecutar un algoritmo realizado en lenguaje C++ que realiza la adquisición de las variables asignadas por medio de los sensores: la temperatura, la humedad relativa, la humedad de suelo y la imagen por medio de la cámara. Teniendo la información en su memoria, este transmitirá estos datos a la base de datos. Por último, él limpia la memoria en forma automática para después realizar otra adquisición cuando reciba la ejecución.

2.2. Red de sensores topología tipo estrella

Para la comunicación entre los nodos y la base de datos, se utilizaron adaptadores Wifi que permiten la comunicación inalámbrica WLAN con el *router* y

cada uno de los nodos con una topología tipo estrella, permitiendo el registro y monitoreo del cultivo. Cada uno de los nodos comprueba la conectividad entre el adaptador-router y así realiza la transmisión.

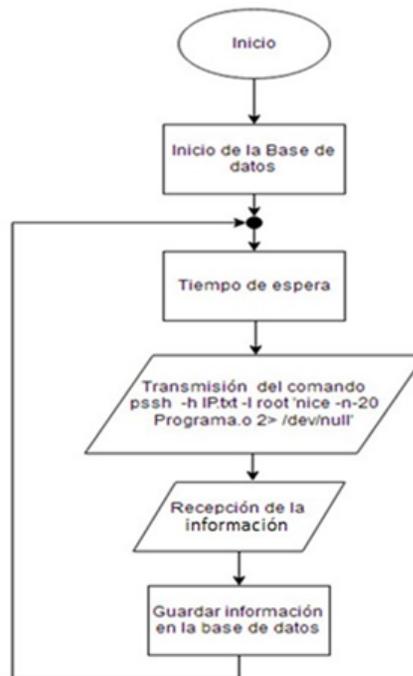
Figura 4: Diagrama de flujo del funcionamiento de un nodo de la WSN con la Beaglebone Black.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 5, se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del servidor central con los nodos. Cuando este inicia, la base de datos está preparada para recibir la información de la red, luego se tiene un tiempo de espera dependiendo del tiempo de muestreo de cada nodo. El servidor central transmite un comando de ejecución permitiendo activar la adquisición de la información de los nodos; por último, recibe la información y la guarda en la base de datos para luego realizar el mismo procedimiento anteriormente descrito.

Figura 5: Diagrama de flujo del funcionamiento del servidor central con la WSN.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6: Estructura de las tablas de la base de datos.

#	Nombre	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Extra
1	Num_Captura	int(11)			No	None	AUTO_INCREMENT
2	Fecha	Timestamp		ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP	No	CURRENT_TIMESTAMP	ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP
3	Temperatura	float			Yes	NULL	
4	Humedad_Relativa	float			Yes	NULL	
5	Humedad_de_Suelo	varchar(16)	utf32_spanish_ci		Yes	NULL	
6	Imagen	mediumblob			Yes	NULL	

Fuente: elaboración propia.

2.3. Etapa del sistema de almacenamiento de la información

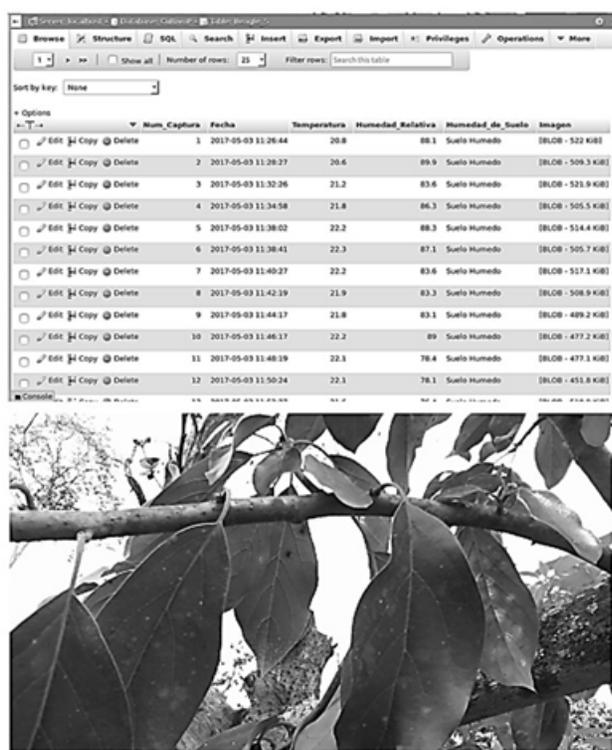
La base de datos se creó por medio del *software Mysql*, usando el *phpMyAdmin.php*, que es un sistema de administración de datos CRUD (siglas del inglés *Create, Read, Update, Delete*). Cada tabla contiene un nombre “Beagle-#N”, donde #N es el número de identificado de la Beaglebone Black; también cada una contiene diferentes campos que almacenan la información del cultivo con la siguiente estructura: número de captura, fecha y hora, la temperatura, la humedad relativa, la humedad de suelo y la imagen (Figura 6).

3. Resultados

Para comprobar el funcionamiento del prototipo WSN que se diseñó, se realizaron diferentes pruebas controladas en el laboratorio y en cultivo. Inicialmente se observó la funcionalidad del equipo y la recepción de la información de los nodos, después se realizaron pruebas de confiabilidad para distancia, consumo energético y la durabilidad del sistema, obteniendo los resultados mencionados a continuación.

Se obtuvo la funcionalidad del diseño de un WSN con la BeagleBone Black y múltiples sensores, especialmente con cámaras. Este prototipo de red tiene cinco nodos donde se observó la transmisión exitosa de los datos, realizando pruebas en un cultivo adquiriendo las siguientes variables: número de capturas, la fecha y hora de las capturas, los valores de la temperatura, de la humedad relativa, de la humedad de suelo y la imagen en un formato JPG. En la Figura 7, se muestra un ejemplo de una tabla con la información del nodo cinco y un ejemplo de la imagen de un cultivo.

Figura 7: Información e Imagen capturada por el nodo 5 de la WSN.



Fuente: elaboración propia.

Con este prototipo se realizaron pruebas de confiabilidad para la distancia en diferentes áreas, en la Tabla 1 se observan las distancias realizadas en la universidad, un campo abierto y un cultivo. Se encontró que la WSN trasmite correctamente los datos a una distancia menor de veinte metros en la universidad, debido a que existen múltiples interferencias en el medio donde se realizó la prueba. Para el campo abierto, la distancia máxima correcta para transmisión de los datos fue de 50 metros sin tener ningún tipo de interferencias. Por último, se realizaron pruebas en un cultivo y se observó que la distancia máxima fue de 32

metros en un terreno semiplano, debido a que entre los nodos y el *router* había varias plantas que interfería la comunicación.

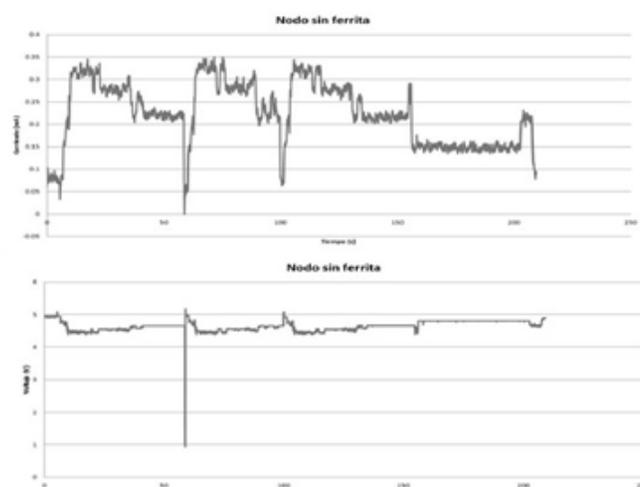
Tabla 1: Pruebas de distancia del WSN.

	Distancia (m)
Universidad	20
Campo abierto	50
Campo de cultivo	32

Fuente: elaboración propia.

Durante las pruebas realizadas en el laboratorio se encontró que el consumo energético de cada nodo presentaba un reinicio en el sistema operativo, o se apagaban sin que el cargador del panel solar estuviera descargado; para solucionar este problema, se efectuó una adquisición de datos de la corriente y tensión a la que se suministra las Beaglebone Black, y se utilizaron dos tipos de elementos para la conexión de la alimentación: un cable USB que conecta el cargador de panel solar con la Beaglebone Black sin núcleo de ferrita y otro cable USB con núcleo de ferrita. Se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 8 y la Figura 9.

Figura 8: Señal de la corriente y tensión de un nodo con el cable USB conectado al cargador de panel solar sin núcleo de ferrita.

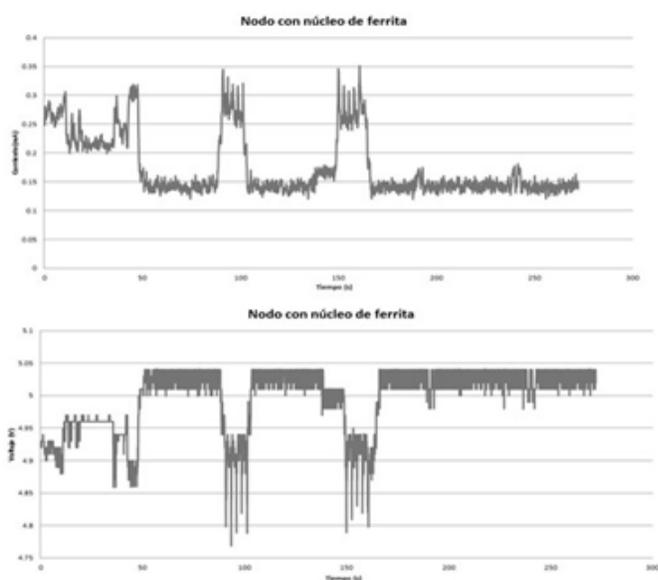


Fuente: elaboración propia.

La Figura 8 muestra las señales de corriente y tensión que suministra el cargador de panel solar con cable sin el núcleo de ferrita durante un periodo corto. Se observó que el comportamiento de estas señales no es estable y presentan inconvenientes al suministrar

la energía necesaria para la Beaglebone Black en la adquisición de la información, causando que el nodo se apague y pierda la información, como se observa en el tiempo de 50 a 60 segundos. Pero en la Figura 9, que muestra las señales de corriente y tensión que suministra el cargador de panel solar con cable con núcleo de ferrita, se encontró que el comportamiento es estable y evita que la Beaglebone Black se apague en un tiempo indeterminado, mejorado su consumo de energético. En la Tabla 2 se observa la durabilidad durante varios días de los nodos con los paneles solares que contienen cables USB con núcleo de ferrita. Se obtuvo que la durabilidad total del prototipo de WSN fue de 101.08 ± 6.09 minutos, debido a que los paneles solares que se utilizaron no almacenan suficiente carga que permita durar más tiempo.

Figura 9: Señal de la corriente y tensión de un nodo con el cable USB conectado al cargador de panel solar con núcleo de ferrita..



Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Se presentó el diseño de un prototipo de WSN de bajo costo en la agronomía, utilizando módulos Beaglebone Black, sensores, cámaras y dispositivos inalámbricos. Se han podido observar las facilidades que presenta este sistema para realizar la adquisición, el procesamiento de la información y la transmisión de los datos; además, con la información obtenida en la base de datos, se podrá aplicar múltiples métodos para la detección de

enfermedades o plagas con el fin de mejorar la calidad del cultivo y la vida para el agricultor.

La utilización de cargadores solares permitió que este sistema fuera autónomo y de fácil implementación, pero debe tenerse en consideración las características eléctricas y la durabilidad de estos dispositivos. Al observar los resultados obtenidos en las pruebas del laboratorio en el consumo energético del sistema, se encontró que los cables que presentan núcleo de ferrita permiten mejorar el desempeño energético en este prototipo, además de realizar un filtrado de altas frecuencias a la corriente que ingresa.

El diseño de un prototipo que se adecúe a las necesidades del entorno garantiza una escalabilidad a la hora de integrar diferentes sensores, también cabe destacar que, aunque en el mercado se encuentran diferentes dispositivos que cumplen con la labor de almacenar información del medio, estos no cuentan con cámaras, indispensables a la hora de determinar las enfermedades en las plantas ya que en un alto porcentaje se aprecian de manera visual.

Tabla 2: Prueba de durabilidad del cada nodo del sistema.

	Duración (min)				
	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5
Día 1	105	101	93	103	102
Día 2	109	103	90	113	108
Día 3	100	98	90	107	99
Día 4	106	100	95	102	101
Día 5	104	95	92	109	102
Media	104.8	99.4	92	106.8	102.4
Desv.	2.92	2.72	1.89	4.01	3.01

Fuente: elaboración propia.

5. Reconocimientos

Se agradece la Universidad Tecnológica de Pereira y a la Vicerrectoría de Investigaciones por el financiamiento de este proyecto, esta es una de las etapas del proyecto que se titula “Diseño e implementación de un sistema automático para la detección de enfermedades en cultivos de fruta” del grupo de investigación de ingeniería electrónica GIIE.

Referencias

- [1] J. Núñez, J. C. Carvajal y L. A. Bautista, “El TLC con Estados Unidos y su impacto en el sector agropecuario Colombiano: entre esperanzas e incertidumbres”, *Revista Electrónica de la Facultad de Derecho*, vol. 1, n°. 1, pp.118-133, 2013.

- [2] P. J. Ramos, M. García, J. F. Hoyos, C. E. Oliveros y J. R. Sanz, “Aplicación de una metodología estructurada para el diseño de un sistema de cosecha selectiva de café”, *Scientia et Technica*, vol. 20, n.º. 1, pp. 10–19, 2015. <https://doi.org/10.22517/23447214.9009>
- [3] G. Karthik y N. Praburam. “Detection and prevention of Banana leaf diseases from banana plant using Embeeded Linux board”, Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET), Coimbatore, 2016, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/GET.2016.7916817>
- [4] E. K. Ratnasari, M. Mentari, R.K. Dewi y R. V. Hari, “Sugarcane leaf disease detection and severity estimation based on segmented spots image”, Proceedings of International Conference on Information, Communication Technology and System (ICTS), 2014, pp. 93–98. <https://doi.org/10.1109/ICTS.2014.7010564>
- [5] T. Zhao, B. Stark, Y. Chen, A. L. Ray y D. Doll, “Challenges in water stress quantification using small unmanned aerial system (sUAS): Lessons from a growing season of almond”, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Arlington, 2016, pp. 1366-1370. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2016.7502642>
- [6] S. Ivanov, K. Bhargava y W. Donnelly, “Precision Farming: Sensor Analytics”, *IEEE Intelligent Systems*, vol. 30, n.º. 4, pp. 76-80, 2015. <https://doi.org/10.1109/MIS.2015.67>
- [7] J. Cedeño, M. Zambrano y C. Medina, “Redes inalámbricas de sensores eficientes para la agroindustria”, *Prisma Tecnológico*, vol. 5, no. 1, pp. 22-25, 2014.
- [8] O. O. Jazmín, “Desarrollo de un prototipo de adquisición de variables ambientales en cultivos hidropónicos de lechuga, mediante una red de sensores, utilizando un sistema embebido”, tesis de maestría, Facultad De Ingeniería, Universidad De San Buenaventura, Bogotá D. C., 2014.
- [9] W. E. Calderón, “Diseño e implementación de un sistema genérico de monitoreo usando redes de sensores inalámbricos con el protocolo 6LoWPAN”, tesis de maestría, Departamento de Ingeniería de sistemas e industrial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., 2014
- [10] J. A. López, A. J. Garcia-Sanchez, F. Soto, A. Iborra y J. Garcia-Haro, “Design and validation of a wireless sensor network architecture for precision horticulture applications Precision Agriculture”, *Precision Agriculture*, vol. 12, n.º. 2, pp. 280-295, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9178-1>
- [11] G. Nisha y J. Megala, “Wireless sensor Network based automated irrigation and crop field monitoring system”, Sixth International Conference on Advanced Computing (ICoAC), Chennai, 2014, pp. 189-194. <https://doi.org/10.1109/ICoAC.2014.7229707>
- [12] D. Archila y F. Santamaría, “Estado del arte de las redes de sensores inalámbricos”, *Revista Tecnología, Investigación y Academia*, vol. 2, n.º. 1, pp. 4-14, 2013.
- [13] C. Aránzazu y G. Moreno, “Revisión del estado del arte de redes de sensores inalámbricos”, *Revista Politécnica*, vol. 5, n.º. 8, pp. 94-111, 2009.
- [14] A. Degada y V. Savani, “Design and implementation of low cost, portable telemedicine system: An embedded technology and ICT approach”, 5th Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE), Ahmedabad, 2015, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/NUiCONE.2015.7449650>
- [15] A. Rehman, A. Z. Abbasi, N. Islam y Z. A. Shaikh, “A review of wireless sensors and networks’ applications in agriculture”, *Computer Standards and Interfaces*, vol. 36, no. 2, pp. 263-270, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>
- [16] T. Ojha, S. Misra y N. S. Raghuvanshi, “Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 118, pp. 66-84, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>
- [17] F. Urbano, “Redes de sensores inalámbricos aplicadas a optimización en agricultura de precisión para cultivos de café en Colombia”, *Journal de Ciencia e Ingeniería*, vol. 5, n.º. 1, pp. 46–52, 2013.
- [18] G. Bradski y A. Koehler, “Learning OpenCV O’Reilly”. [En línea]. Disponible en: https://archive.org/stream/LearningOpenCV/LearningOpenCV_djvu.txt