

Agricultura de precisión mediante WSN con nodos inteligentes aplicada a un sistema de riego en cultivo de mora

Precision agriculture using WSN with smart nodes applied to an irrigation system in blackberry cultivation

Marjorie Paredes*, Wilson Zúñiga†, Andrés Morocho Caiza‡, María Mendoza§

*§, Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.

†‡, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 060155, Riobamba, Ecuador.

Email: *marjorieparedesv@hotmail.com, †wilson.zuniga@esPOCH.edu.ec, ‡andres.morocho@esPOCH.edu.ec, §marymjc60@hotmail.com

Resumen— La red de sensores inteligentes para la supervisión y control de riego de la parcela de mora en el Centro Experimental de Riego (CER) de la ESPOCH consiste en un sistema electrónico de sensores inalámbricos basados en tarjetas de desarrollo Arduino. El sistema se basa en tres nodos con una topología de red tipo malla que permiten medir la humedad del suelo y la temperatura ambiente para sugerir en qué momento es necesario realizar el riego y su volumen. Además, incluye una aplicación móvil que mantiene una comunicación vía Bluetooth para la visualización de las lecturas del nodo sensor. Por otro lado, los datos son receptados y visualizados en tiempo real de manera gráfica y almacenados en la plataforma libre ThingSpeak. La adquisición de las muestras se las realizó durante ocho días consecutivos y los resultados presentados muestran que el sistema inalámbrico implementado mantiene una comunicación sin pérdida a distancias de 300 metros en línea de vista directa con una potencia de recepción de -58dBm.

Palabras Clave— Red de sensores, Topología de red, Cultivo de precisión, Control de riego.

Abstract— Intelligent sensor network for the supervision and control of irrigation of the blackberry plot in the Experimental Irrigation Center (CER) of the ESPOCH consists of an electronic system of wireless sensors based on Arduino development boards. The system consists of three nodes with a mesh-type network topology that allow measuring soil moisture and ambient temperature to suggest when it is necessary to irrigate and its volume. In addition, it includes a mobile application that maintains communication via Bluetooth to view the readings from the sensor node. On the other hand, the data is received and visualized in real time in a graphical way and stored in the free ThinkSpeak platform. The acquisition of the samples was carried out during eight consecutive days and the results presented show that the wireless system implemented maintains a communication without loss at distances of 300 meters in direct line of sight with a reception power of -58dBm.

Keywords— Sensor network, Network topology, Precision cultivation, Irrigation control.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un insumo limitado y de carácter vital en la agricultura, su distribución óptima es una prioridad [1]. Sin embargo, se siguen instalando distintos métodos de riego sin medición de la humedad del suelo, sin controlar el tiempo de riego e identificación de la porción de suelo que realmente necesita ser abastecida por agua [2]. Esto es una desventaja porque el déficit de riego causa un bajo rendimiento en su producción, pero también el exceso de riego puede desencadenar infertilidad permanente [3]. En este punto es cuando los conceptos de la agricultura de precisión dejan de ser tan solo una opción tecnológica y se convierten en una necesidad para cubrir de forma precisa la demanda hídrica de un cultivo [4].

En la última década ha cobrado más popularidad el concepto de agricultura de precisión [5], la misma que consiste en aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto [6]. Está enfocada en el uso de la tecnología de la información para un adecuado manejo del suelo y sus cultivos [7].

En el Ecuador la demanda de agua en su mayoría se concentra en el sector agrícola con un 81%, el 13% en el uso doméstico y un 6% para el uso industrial. El país cuenta con una superficie cultivada de 6.3 millones de hectáreas y el potencial de riego corresponde a la mitad. Sin embargo los sistemas implementados cubren la necesidad de 1.5 millones de hectáreas, siendo únicamente 942 mil hectáreas regadas efectivamente. Adicionalmente, la falta de mantenimiento a la infraestructura da como resultado 600 mil hectáreas subutilizadas [8].

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) muestra que en Ecuador, en el año 2015 se registraron 1945 sistemas de riego con una superficie de 358981.47 hectáreas, de las cuales el 74.44% corresponde a superficie efectivamente regada con una brecha del 25.56%. Estos datos revelan que los sistemas de riego existentes presentan un porcentaje considerable de desperdicio del recurso hídrico.

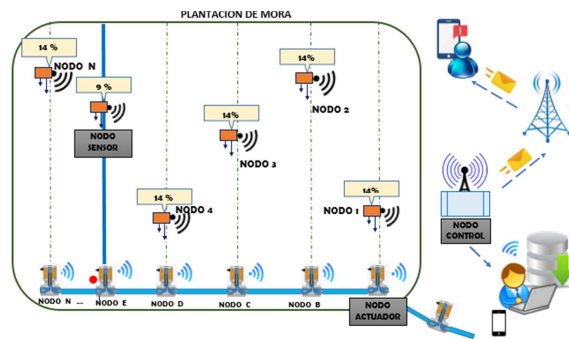


Figura 1. Arquitectura general del sistema inalámbrico.

En vista a estas cifras, se han implementado sistemas de riego automático en la ciudad de Riobamba (Ecuador). En uno de estos trabajos, se utilizó algoritmos de lógica difusa que activa o desactiva las electroválvulas para el riego dependiendo de las lecturas de los sensores ambientales [9]. De manera particular, el Centro Experimental de Riego (CER) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) posee plantaciones de mora controladas mediante el método gravimétrico para la obtención de porcentajes de humedad y distribución del recurso hídrico en la plantación. Esta investigación se centra en la automatización del riego, con el objetivo único de optimizar el uso de agua en el cultivo de mora, adoptando los conceptos de una agricultura de precisión. En este sentido, se demostrará como el uso de las tecnologías de la agricultura de precisión puede mejorar el rendimiento (cantidad o calidad) del cultivo, optimizando la cantidad de insumos requeridos para su producción [10].

II. METODOLOGÍA

La investigación desarrollada se basa en un análisis histórico bibliográfico de datos relacionados con la problemática para establecer requerimientos funcionales hardware y software, con lo cual se planteó una concepción general del diseño acompañada del análisis detallado de cada una de las partes que lo integran, así como los esquemas electrónicos y algorítmicos, que derivan en la implementación de la WSN. Para la obtención y análisis de resultados se emplearon pruebas estadísticas. A continuación, se detalla el procedimiento seguido.

A. Diseño del prototipo de la red de sensores

La red está integrada por tres nodos: sensor, actuador y control como se aprecia en la Fig. 1. Los nodos se comunican mediante la tecnología Zigbee y cumplen con su función basándose en la topología de red Malla que forma parte de la WSN. Este tipo de topología consiste en una agrupación y comunicación entre nodos que sean capaces de transmitir y recibir información de manera inalámbrica [11].

En la Fig. 2, se presenta el diagrama de bloques del nodo sensor, el cual tiene como objetivo la adquisición en tiempo real de niveles de humedad del suelo y la temperatura ambiente en una zona determinada del cultivo. Cada nodo sensor cuenta con alimentación independiente proveniente de un panel solar, los datos obtenidos por los sensores son visualizados en una

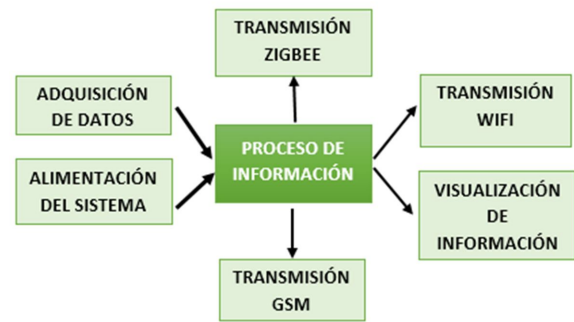


Figura 2. Diagrama de bloques del nodo sensor.



Figura 3. Diagrama de bloques del nodo actuador.

pantalla LCD (Liquid Cristal Display, por sus siglas en inglés) cuentan además con un módulo transmisor XBee que es el encargado de la transmisión inalámbrica de datos hacia el nodo control utilizando la tecnología de comunicación inalámbrica ZigBee. Además se integra un módulo GSM SIM900 que es el encargado de enviar alertas a través de mensajes de texto. La cantidad de nodos dependerá de la extensión del terreno y necesidades del cultivo.

El diagrama de bloques del nodo actuador se puede observar en la Fig. 3. Este nodo recibe la orden del nodo de control a través del módulo XBee para empezar el riego activando una electroválvula, además cuenta con un medidor de flujo de agua para llevar un registro de la cantidad de agua utilizada por el cultivo en un lapso determinado de tiempo.

Finalmente, el diagrama de bloques del nodo de control se puede observar en la Fig. 4. Es el encargado de la recolección de información, actúa como transmisor y receptor, recibe información del nodo sensor y genera la orden para el nodo actuador. El nodo de control consta de una tarjeta de desarrollo encargada de desencapsular los datos recibidos por el módulo XBee.

B. Software de la red de sensores inalámbricos

El software para el análisis de la topología de red que se utilizó es Riverbed Modeler Academic, el mismo que permite la simulación de red con un rápido análisis y diseño [12]. Consta de un paquete de protocolos y tecnologías en un entorno sofisticado de desarrollo, en su modelado incluye varios tipos de red como: VoIP, TCP, OSPFv3, MPLS, IPv6 entre otras. Este software analiza redes, prueba y demuestra diseños tecnológicos antes de la producción.

En la Fig. 5, se muestra la carga y retrasos promedios de las topologías realizadas en la simulación donde se aprecia



Figura 4. Diagrama de bloques del nodo control.

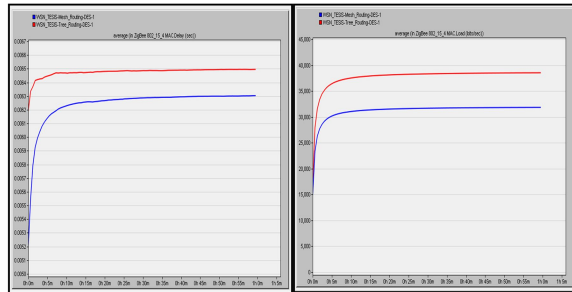


Figura 5. Retraso promedio y carga promedio de datos.

que la topología de red de malla tiene un retraso de 5.2 ms a diferencia de la topología de árbol con un retraso de 6.3 ms. Además, la topología de malla tiene mayor velocidad de carga con 25 Kbps. Con este análisis, se ratifica a la topología de red de malla para la implementación del sistema, siendo esta la topología que cumple con las necesidades del sistema a ser implementado.

Para cada nodo del prototipo se implementó un programa realizado en Arduino IDE (Integrate Development Environment, por sus siglas en inglés) en la versión 1.8.3. El módulo Arduino permite realizar la adquisición de los datos y no tiene problemas en trabajar con los diferentes protocolos de comunicación empleado [13].

Para la configuración del módulo Xbee, se trabajó con la herramienta XCTU, que es un software libre utilizado para la configuración de una arquitectura de la red inalámbrica. Con esta herramienta se configuran los módulos de comunicación para que el mismo identificador (ID) y canal dentro de la red [14]. Las pruebas se realizaron utilizando las herramientas disponibles en XCTU como se muestra en la Fig. 6, teniendo una comunicación estable y sin pérdida de paquetes hasta 300 m en línea de vista directa. A partir de esa distancia existe un retraso de 2 a 5 segundos en la recepción, sin pérdida de datos. Entonces, para este estudio se consideraron 300 m cumpliendo con los requerimientos del sistema.

Se emplearon dos softwares para la visualización de los resultados. El primero es una plataforma de código abierto, llamada ThingSpeak, que se conectan de manera remota con los módulos que toman la información de los sensores de humedad, temperatura y caudal de agua. Estos datos, se almacenan en un archivo con extensión .xlsx y se grafican en tiempo real. El segundo software es App Inventor, con el



Figura 6. Comunicación entre nodos.



Figura 7. Prototipo del nodo sensor (izquierda), nodo control (centro) y nodo actuador (derecha).

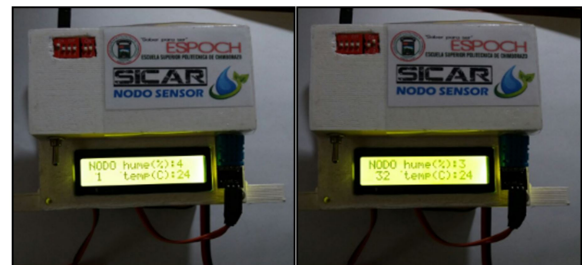


Figura 8. Combinación del micro-switch para nodo 1 (izquierda) y combinación del micro-switch para nodo 32 (derecha).

cual se realizó una aplicación móvil para visualizar los datos que envía el nodo sensor a un dispositivo móvil mediante Bluetooth.

En la Fig. 7, se presentan las fotografías de los prototipos de los nodos implementados, con los que se realizó las pruebas de funcionamiento.

III. RESULTADOS

A. Pruebas de configuración de identificadores

Esta prueba consiste en verificar la comunicación entre las placas electrónicas de los nodos, mediante la configuración manual de la identificación del nodo con la combinación binaria usando un micro-switch que permite ingresar hasta 64 identificadores. En la Fig. 8, se muestra un ejemplo de la configuración de códigos de identificación generados.

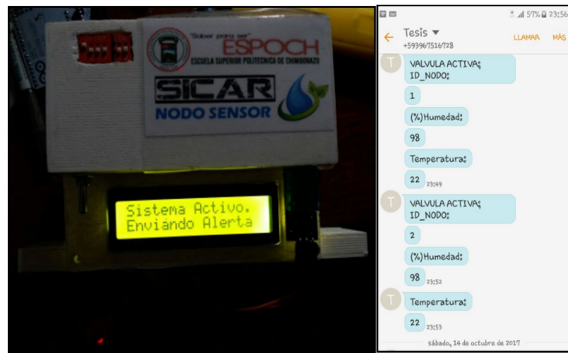


Figura 9. Envío de notificaciones a través de la red GSM.



Figura 10. Visualización de datos de temperatura y humedad en la plataforma ThingSpeak.

B. Pruebas de comunicación con modulo SIM900GSM

El nodo sensor tiene incorporado entre sus dispositivos un módulo SIM900 que es el encargado de enviar notificaciones a través de la red GSM cuando se activa el sistema de riego como se muestra en la Fig. 9. Este mensaje incluye el aviso de la válvula activa, el identificador del nodo, la humedad y temperatura. Esta notificación llega al dispositivo móvil después de 8 s que la tarjeta electrónica envía la orden.

C. Pruebas de comunicación con modulo ESP8266

El nodo sensor y actuador mantienen una comunicación inalámbrica por medio del módulo ESP8266, mismo que es capaz de alojar una aplicación o acatar todas las funciones de la red Wifi enviadas desde otro procesador de aplicaciones [15]. Este dispositivo es el encargado de enviar las lecturas de los sensores de humedad y temperatura a la plataforma libre ThingSpeak, donde la información es almacenada y graficada en tiempo real, como se muestra en la Fig. 10.

D. Pruebas de comunicación entre Bluetooth y aplicación móvil

El nodo control cuenta con un módulo Bluetooth que es el encargado de enviar datos en tiempo real a la aplicación móvil, como se muestra en la Fig. 11. El nodo sensor y actuador envían datos constantemente al nodo de control para su visualización con un alcance de hasta 10 m sin retardos.



Figura 11. Monitoreo en la aplicación móvil (izquierda) y visualización en el nodo sensor (derecha).



Figura 12. Área de la parcela de mora.

Tabla I
CONSUMO DE AGUA EN LA PARCELA USANDO GOTEROS DE 16mm
-0.3L/s

Total Goteros	Caudal Agua/min	Minutos de Riego	Total Consumo (L)
560	1,8	30	30,24
560	1,8	60	60,48
560	1,8	120	120,96
560	1,8	180	180,44

E. Pruebas del sensor de caudal de agua

El cultivo de mora ubicado en la Facultad de Recursos Naturales cuenta con 140 plantas de mora. El terreno tiene una dimensión de $32 \times 52 \text{ m}^2$, como se muestra en la Fig. 12. Cada planta tiene cuatro goteros de 16 mm, dando un total de 560 en el área de cultivo.

En la Tabla I, se detalla la cantidad de agua utilizada por toda la parcela del cultivo durante en el proceso de riego supervisado durante 3 horas, mientras que en la Tabla II se detalla el consumo de agua registrado por cada nodo instalado en cada planta de la parcela.

El cultivo de 140 plantas de mora consume 180.44 litros de agua en tres horas de riego que equivale a 1.2 litros por planta. El sistema implementado determinó que tres horas de riego fueron suficientes para llegar al valor óptimo de hidratación de las plantas a diferencia de las cuatro horas empleadas por el CER. Esto representa un ahorro de 60.48 litros de agua.

Tabla II
CONSUMO DE AGUA POR CADA PLANTA USANDO GOTEROS DE 16mm
-0.3L/s

Goteros por planta	Caudal Agua/min	Minutos de Riego	Total Consumo (L)
4	1,8	30	0,21
4	1,8	6	0,43
4	1,8	120	0,87
4	1,8	180	1,2

IV. CONCLUSIONES

Se implementó una red de sensores para monitorear y controlar el cultivo de mora en el CER – ESPOCH. La red tiene una topología tipo malla con comunicaciones inalámbricas como Zigbee, Wifi, Bluetooth y GSM. Para controlar el sistema de riego de 140 plantas, se utilizaron 180.44 litros de agua en tres horas de riego que equivale a 1.2 litros por planta, determinando un ahorro de 60.48 litros en comparación con el sistema tradicional. Estos resultados implican que para riegos programados de tres veces por semana, se calcula un ahorro de 725.76 litros de agua por mes y 8709.12 litros por año. El sistema implementado permite incorporar hasta 64 nodos, considerando que la humedad del suelo es constante hasta 100 m a la redonda de la planta. Se determina que el prototipo implementado puede cubrir aproximadamente un área de cultivos de hasta 200 hectáreas.

REFERENCIAS

- [1] F. González, J. Herrera, and O. Hernández. *Base de datos sobre necesidades hídricas*. Revista Científica Técnica Agrícola, vol. 21, no. 2, pp. 42–47, 2012.
- [2] Y. A. Deaquiz, J. G. Álvarez Herrera, and L. P. Pinzón Gómez. *Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (Fragaria sp.)*. Rev. Colomb. Ciencias Hortícolas, vol. 8, no. 2, p. 192, 2015, doi: 10.17584/rcch.2014v8i2.3213.
- [3] W. Klohn and B. Appelgren. *Agua y desarrollo*. Revista CIDOB d'Afers Internacionals, pp. 105–126, 1999.
- [4] J. Vega and M. Ruiz. *Agricultura de precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria*. Ministerio Ambiental, pp. 10–11, 2013.
- [5] R. Ortega, P. Claudio, and L. Flores *Agricultura de precisión*. Cargill Ch. Chillán, 1999.
- [6] E. García and F. Flego. *Agricultura de precision*. Tecnol. Agropecu., pp. 24–31, 2009.
- [7] E. Maya and G. Chafra. *Red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión*. Sathiri, no. 6, p. 22, 2018, doi: 10.32645/13906925.277.
- [8] El Telégrafo. *El agua siembra, riega y cosecha desarrollo*. Quito, p. 1, 2014.
- [9] J. Gálvez and H. Cazares. *Diseño e implementación de un sistema de riego inteligente mediante lógica difusa para el Centro Experimental de Riego de la Facultad de Recursos Naturales*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016.
- [10] L. Romero, F. Piña, and M. Goire. *Red de sensores inalámbricos para las casas de cultivos protegidos San José*. Ing. Electrónica, Automática y Comun., vol. 39, no. 1, pp. 16–26, 2018.
- [11] R. Faludi. *Wireless sensor networks*. O'Really M. New York, 2010.
- [12] P. Manohara Rao, Y. Chalapathi Rao, and M. Ashok Kumar *Performance analysis of ZigBee wireless sensor networks using Riverbed simulation modeler*. Proc. 2nd Int. Conf. Inven. Syst. Control. ICISC 2018, no. January, pp. 1272–1277, 2018, doi: 10.1109/ICISC.2018.8399010.
- [13] M. Flores and F. Quiroz. *Mapeo de la señal Wifi mediante un dispositivo implementado en Arduino*. Jóvenes En La Cienc., vol. 3, no. 1, pp. 494–497, 2017.

- [14] C. Vera, J. Barbosa, and D. Pabón. *Parámetros de configuración en módulos Xbee-pro S2B ZB para medición de variables ambientales*. Tecnura, Bogotá, pp. 141–157, 2015.
- [15] J. Ceja, R. Renteria, R. Ruelas, and G. Ochoa. *Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas*. Revista de Ingeniería Eléctrica, p. 24–36, 2017.