

## DISEÑO DE RED INALÁMBRICA EN TOPOLOGIA ESTRELLA PARA SENSADO DE VARIABLES CLIMATICAS EN HUERTO DE MANZANOS

Fiscal Valverde Adolfo, Martínez Rivera José A., Gamero Inda Eduardo, Godínez García Francisco J., Muñoz Bayona Dustin A.

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Durango  
Maestría en Ingeniería  
Blvd. Felipe Pescador # 1830 ote. C.P. 34080, Durango, Dgo., México  
6188290900

[jamartinez@itdurango.edu.mx](mailto:jamartinez@itdurango.edu.mx), [amtzr@yahoo.com](mailto:amtzr@yahoo.com)

### RESUMEN.

Se presenta el diseño y la implementación de una red de comunicación inalámbrica mediante dispositivos XBee S2C PRO en topología estrella para el sensado de variables climáticas en un huerto de manzanos, se implementaron tres nodos remotos para el monitoreo de variables climáticas, para el registro de la información recolectada en la estación coordinadora se desarrolló una base de datos mediante la herramienta MySQL, el registro histórico de la información puede visualizarse en una interfaz hombre máquina.

Las instalaciones en donde se verificó la funcionalidad de este sistema de comunicación son de la huerta *El Moral* que se encuentra ubicada en el municipio de Canatlán, Durango en el estado de Durango, México.

**Palabras Clave:** red inalámbrica, protocolo ZigBee, base de datos MySQL, topología estrella.

### ABSTRACT.

The design and implementation of a wireless communication network using XBee S2C PRO devices in star topology is presented for the sensing climatic variables in an apple orchard, three remote nodes were implemented for the monitoring of climatic variables, for the record of the information collected in the coordinator station, a database was developed using MySQL software tool, the historical record of the information can be showed on a human-machine interface.

The facilities where was verified the functionality of this communication system are from the "El Moral" orchard, which is in the municipality of Canatlan, Durango in Durango Mexico

**Keywords:** wireless network, ZigBee protocol, MySQL database, star topology.

### 1. INTRODUCCIÓN

Para mejorar la rentabilidad de un cultivo de manzanas es necesario cuantificar las variables climáticas de la zona geográfica donde se ubica el huerto de manzanos, hasta ahora, se ha recurrido a redes cableadas de sensores, las cuales son costosas en su instalación y mantenimiento, las redes de sensores inalámbricas aplicadas a la agricultura ofrecen una alternativa confiable y económica.

Actualmente, ha sido posible determinar la calidad de la transmisión inalámbrica de datos, considerando que en el medio de transmisión están presentes árboles de manzano con diferentes edades; la densidad de las ramas y hojas de los árboles jóvenes menores a cinco años, en comparación con los árboles viejos, mayores a cinco años representan una perturbación que afecta la transmisión de datos de manera inalámbrica [1]. Por lo que se puede asumir que en un huerto de manzanos jóvenes la respuesta en la transmisión de datos es incrementada.

Una red de sensores de comunicación inalámbrica para la detección de plaga de hongo en la corteza de árboles en un huerto de manzano [2], plantea el diseño de redes de sensores tomando en cuenta las variaciones que existen en tiempo real de las variables físicas tales como, temperatura, humedad relativa y altitud. Los resultados de la investigación permiten recopilar datos de la temperatura y la humedad en la corteza, identificando periodos propensos al desarrollo de la enfermedad. Otros autores [3], han desarrollado técnicas de monitoreo y registro de variables climáticas que afectan al sistema hídrico en un huerto de manzanos. Utilizando seis nodos inalámbricos compuestos por sensores y actuadores, una estación central con un transmisor conectado a una laptop y una interfaz gráfica con el usuario. Para determinar el índice de estrés hídrico del cultivo, reduciendo la cantidad de agua aplicada al huerto de manzanos en un 70%.

En este trabajo, se diseñó e implementó una red inalámbrica en topología estrella para el sensado de variables climáticas en un huerto de manzanos. Se implementaron tres nodos remotos para el monitoreo de variables físicas de temperatura y humedad relativa del aire, temperatura y humedad del suelo. La información recolectada en la estación coordinadora es almacenada en una base de datos desarrollada mediante la herramienta MySQL y el registro histórico de la información puede visualizarse en una interfaz hombre máquina.

## 2.1 SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN

Las principales variables para el monitoreo de las condiciones de irrigación en un huerto de manzano son, temperatura del aire ( $T_a$  °C), humedad relativa del aire ( $HRA$  %), temperatura del suelo ( $T_s$  °C) y humedad del suelo ( $Hs$  %). En este sentido, en este proyecto se implementan tres nodos que se ubican estratégicamente en un huerto de manzanos para el monitoreo y registro de las variables antes mencionadas, las cuales se envían a un coordinador mediante el protocolo de comunicación ZigBee a través de dispositivos XBee S2C PRO. Figura 1.

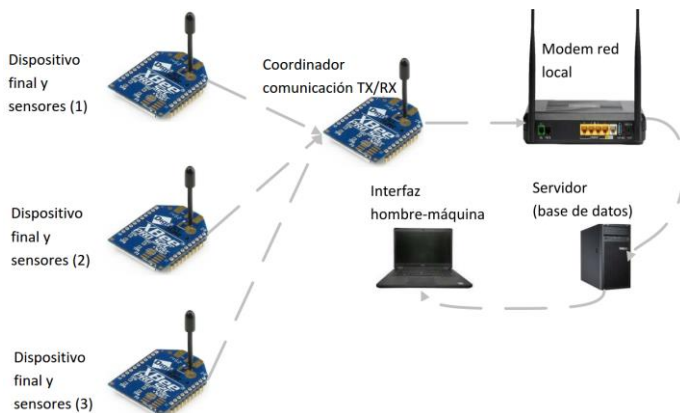


Figura 1. Diagrama a bloques gráfico de la red de sensores inalámbrica.

Cada nodo contiene un módulo XBee el cual dentro de su configuración posee cuatro entradas de un microcontrolador para la conversión análogo-digital [4], el voltaje de operación es representado por 0x0000 y este equivale a 0V y 0x3FF a 1.2V, es decir, las entradas para conversión análogo-digital no pueden leer voltajes mayores a 1.2V [5], [6]. Las entradas AD0-AD3, son programadas mediante el software XCTU como entradas análogo-digitales. El sensor AMT1001 permite determinar el valor análogo de la temperatura y humedad relativa del aire [7]. El valor de voltaje de la temperatura del aire se expresa por Ec. (1)

$$V = \log(10000.0) * \left( \frac{1024}{read1-1} \right) \quad Ec. (1)$$

A continuación, se determina la temperatura en grados Celsius mediante Ec. 2,

$$T_a = \frac{1}{(0.001129148 + (0.000234125 + 0.0000000876741 * V^2)) * V} - 281.15 \quad Ec. (2)$$

El registro de la variable de humedad relativa del aire se expresa en la Ec. (3)

$$HRA = 0.163 * Lectura ADC \quad Ec.(3)$$

Para determinar la variable de temperatura de suelo, se usó el sensor analógico LM35 al cual se le implementó un encapsulado de acero inoxidable para que pudiera soportar el ambiente del suelo. El valor del voltaje que representa la cuantificación de la temperatura del suelo se expresa por la Ec. (4)

$$T_s = \frac{LecturaADC * 1.2 * 100}{1024} \quad Ec. (4)$$

La medición de la humedad del suelo se realizó a través del sensor YL-69 el cual es constituido por dos trazos de cobre montados sobre una tarjeta de circuito impreso y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador con el amplificador operacional LM393. Para determinar el porcentaje de la humedad en el programa se aplicó la Ec. (5):

$$Hs = \text{map}(LecturaADC, 0, 1023, 100, 0) \quad Ec. (5)$$

## 2.2 IMPLEMENTACIÓN DE RED DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA EN TOPOLOGÍA ESTRELLA.

La red de comunicación inalámbrica esta constituida por tres nodos remotos que envían información a una estación central o base, cada uno de estos nodos registra las variables de temperatura y humedad relativa del aire, temperatura y humedad del suelo. Las estaciones remotas cuentan con un dispositivo XBee que transmiten la información a una estación central o base por medio del protocolo ZigBee, Figura 2 y Figura 3.

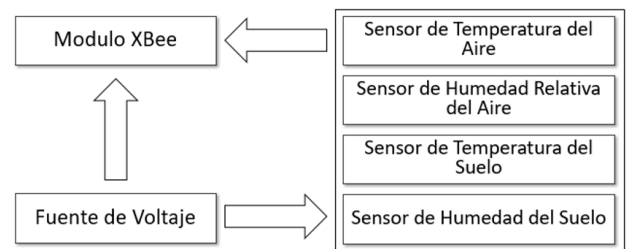


Figura 2. Estación remota con módulo XBee en configuración AT.

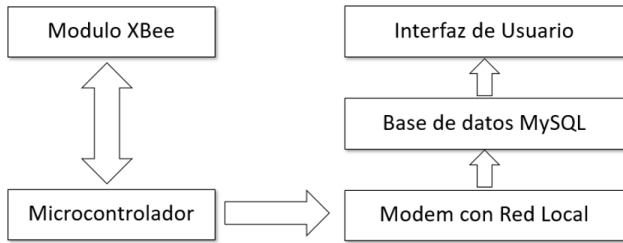


Figura 3. Estación base con modulo XBee en configuración API.

La lógica de programación identifica la dirección de 64 bits de cada uno de los nodos remotos de la red de comunicación inalámbrica, la recepción de datos análogos en la estación base permite aplicar las Ec. 2, Ec. 3, Ec. 4 y Ec. 5 para obtener el valor de cada una de las variables, estos se almacenan en una base de datos creada con la herramienta MySQL que despliega la información al usuario en una interfaz gráfica. La comunicación del coordinador con los tres dispositivos finales se realizó mediante el uso de la librería xbee.h [9],[10]. La lógica de programación se muestra en la Figura. 4.

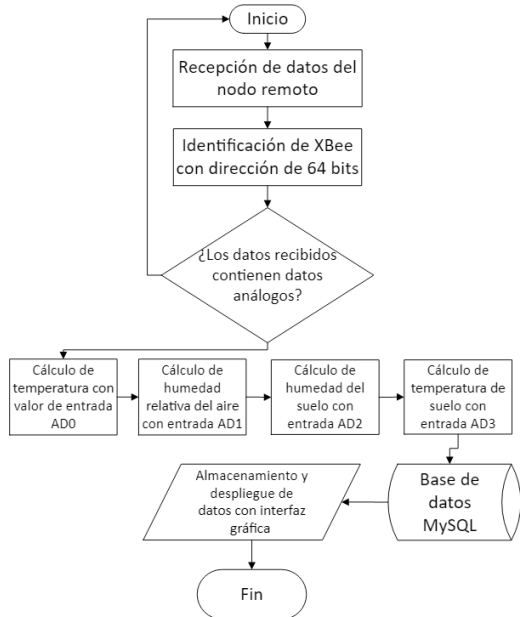


Figura 4. Diagrama a bloques para programa de red de sensores inalámbricos

Los dispositivos remotos de XBee S2C PRO fueron programados mediante el uso del software XCTU, para activarlos y ser usados como dispositivos finales.

### 3 RESULTADOS

La integración de los componentes electrónicos de cada una de las estaciones remotas fue montada sobre una tarjeta de circuito

impreso y alojado en una cubierta plástica con estándar ip65 para prevenir el deterioro del sistema electrónico, Figura 5. La distribución geográfica de las estaciones remotas se llevo a cabo con la recomendación del experto en el huerto de manzanos para tener un área máxima de cobertura de **1600m<sup>2</sup>**.

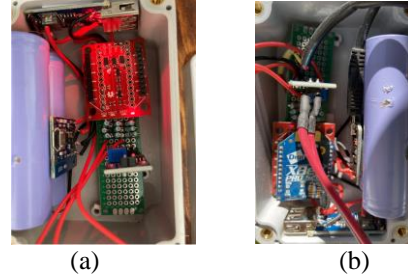


Figura 5. Módulo instalado en huerto de manzano; (a) circuitos de conexión de XBee; (b) vista superior XBee.

Los componentes de la estación base no requieren de un gabinete ya que el cuarto de instrumentación donde fue instalado cuenta con suficiente protección contra cambios bruscos de temperatura, se instaló un equipo de cómputo junto con una placa de prototipo donde se colocó la placa de desarrollo Arduino, un módulo XBee configurado como coordinador y una base ethernet, para el establecimiento de una red local se instaló un modem que recolecta los datos provenientes del XBee coordinador para ser enviados al servidor. En la Figura 6 se observa la estación base implementada dentro del cuarto de instrumentación.

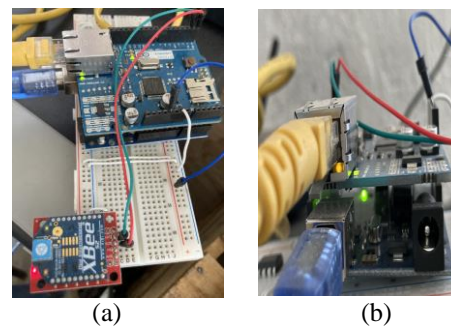


Figura 6. Gráfica de la estación base o coordinador; (a) vista superior; (b) vista lateral

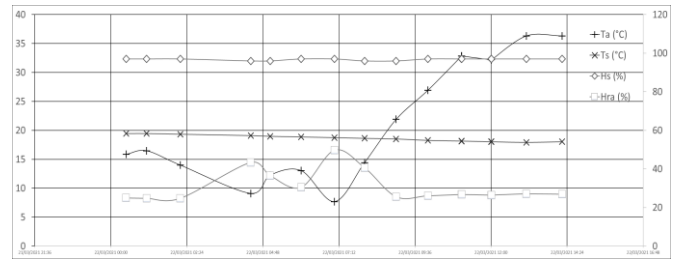
La información de los diferentes sensores de los nodos se almacena en una base de datos creada mediante la herramienta MySQL, el despliegue de la información se realiza a través de una interfaz gráfica, Figura 8, la cual cuenta con un menú en el que se selecciona el nodo remoto identificado mediante una dirección única de 64 bits, Figura 7.



Figura 7. menú de selección de nodo remoto con dirección de 64 bits.



Figura 8. sensor seleccionado con dos de las cuatro variables graficadas.



(c)

Figura 9. Comportamiento de las variables climáticas en los tres nodos de la red.

En la Figura 9 (a),(b), (c) se muestra la tendencia de las cuatro variables climáticas,  $T_a$ ,  $HRA$ ,  $T_s$  y  $H_s$ . Para el caso de la temperatura y humedad relativa del aire las curvas responden al comportamiento del modelo sinusoidal, observando las variaciones diurnas y nocturnas de  $T_a$  y  $HRA$  para cada nodo. La

diferencia en los valores de  $T_a$  y  $HRA$  en cada nodo permite suponer la presencia de un microclima en la huerta de manzanos. Los valores de  $T_s$  se mantienen en la banda  $25^{\circ}\text{C}$  y  $15^{\circ}\text{C}$ . Para la humedad de suelo se observan variaciones entre las lecturas de los sensores, indicando mayor humedad en (c), este valor se justifica ya que el sensor asociado al nodo está ubicado a una distancia de 0.80 m de la entrada del canal de agua de riego.

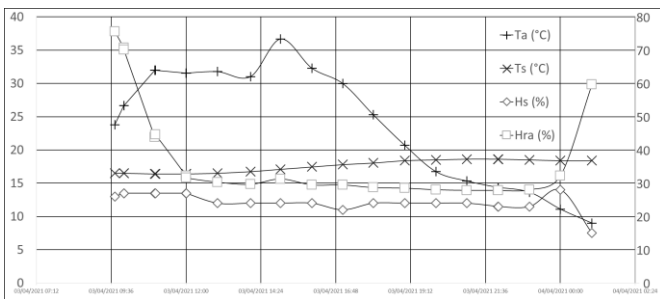
La ubicación estratégica de los nodos remotos, manteniendo una distancia adecuada entre los dispositivos finales con el coordinador aseguro la integridad de los datos. Sin embargo, pudiera presentarse una atenuación de la comunicación inalámbrica por un evento climático.

#### 4. CONCLUSIONES

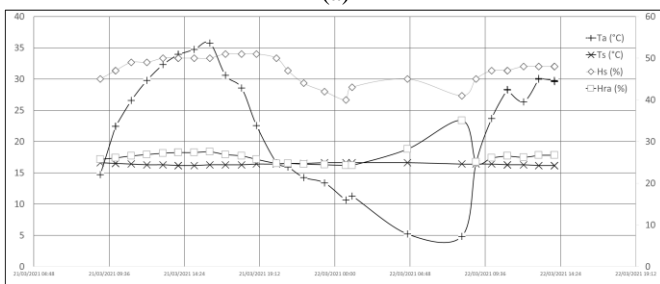
Se realizó el diseño e implementación de una red de comunicación inalámbrica mediante dispositivos XBee, el sistema permite la transmisión inalámbrica de la información sensada en los tres nodos hacia la estación coordinadora de manera eficiente. La interfaz hombre maquina exhibe la información recopilada y su procesamiento permite la posibilidad de tomar acciones de control con el respaldo matemático de los datos sobre el riego de la huerta de manzanos.

Los valores registrados de las variables climáticas permitirán la construcción de un modelo matemático de horas frío adecuado al microclima de la huerta *El Moral*, con respecto al modelo regional de horas frío.

La transmisión de datos de la red de comunicación inalámbrica se ve afectada por las diferentes épocas de floración del árbol de manzano, esto debido a que la densidad de follaje se incrementa en la huerta.



(a)



(b)

## 5. REFERENCIAS.

- [1] X. Guo, C. Zhao, Propagation model for 2.4 GHz wireless sensor network in four-year-old young apple orchard, 1. Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China), 2014, 7.
- [2] K. Bhargava, A. Kashyap, Gonsalves, A. Timothy, Wireless Sensor Network Based Advisory System for Apple Scab Prevention, IEEE; School of Computing and Electrical Engineering Indian Institute of Technology Mandi, 2014, 6.
- [3] Y. Osroosh, P., T. Roberts, C., S. Colin, Z., Q., Comparison of irrigation automation algorithms for drip-irrigated apple trees, ELSEVIER, 2013, 6.
- [4] R. Faludi, Building Wireless Sensor Networks, O'Reilly Media, 2011, 300.
- [5] Alliance, ZigBee [en línea], disponible: <https://zigbeealliance.org/about/>, febrero 15 2021.
- [6] Digi International, ZigBee RF Modules, XBee2, XBeePRO2, PRO S2B, User Guide, Estados Unidos and other countries, Digi International, 2018, 195.
- [7] A. Rapp, M. Kooijman, "xbee-arduino", GitHub, disponible: <https://github.com/andrewrapp/xbee-arduino/blob/master/XBee.h>.
- [8] S. S. R. Ritchinder, ZigBee standard for a wireless temperature system, Toronto, Ryerson University, 2015, 46.
- [9] H., "Como usar el módulo Arduino AMT1001", Taringa, disponible: [https://www.taringa.net/+ciencia\\_educacion/como-usar-el-modulo-arduino-amt1001\\_htb1b](https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/como-usar-el-modulo-arduino-amt1001_htb1b).
- [10] L. del Valle, "Leer sensor de temperatura LM35 en Arduino", Programarfácil, disponible: <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/leer-el-sensor-de-temperatura-lm35-en-arduino/>.