

# Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos

Sergio Iván Ossa Duque<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Especialista en Redes y Telecomunicaciones. Ingeniero Electrónico. Gestor Línea Electrónica y Telecomunicaciones, TecnoParque Nodo Manizales. SENA Regional Caldas, Centro de Procesos Industriales y Construcción. Manizales, Colombia.

Reporte de caso

Recibido: 14/06/2017. Aprobado: 28/06/2017

## RESUMEN

Este artículo describe el diseño de una plataforma de monitoreo remoto y control de variables ambientales para agricultura de precisión, flexible y de bajo costo. Para la construcción de dicha plataforma se emplearon tecnologías con redes inalámbricas de sensores, basadas en protocolo de comunicación Zigbee, utilizando sistema embebido Arduino, mediante software y hardware libre. La red está compuesta por un nodo central (coordinador) y dos nodos donde se encuentran conectados los sensores para las lecturas de las variables medioambientales y estas se exhiben en un entorno gráfico. Finalmente, los datos son subidos a la nube para que el usuario pueda acceder a la información en tiempo real desde cualquier lugar.

**Palabras clave:** WSN, sensor, Zigbee, Arduino, variables ambientales.

## Monitoring and control of environmental variables through a wireless network for precision agriculture in greenhouses

### ABSTRACT

This paper describes the design of a remote monitoring and control platform of environmental variables for precision agriculture that holds high flexibility at a low cost. It's made from a Wireless Sensor Network based on Zigbee communication protocol, using embedded Arduino system, through free software and hardware.

The network consists of a central node (Coordinator) and two measuring nodes where the sensors are connected for the readings of the environmental variable. These are displayed in a graphic interface. Finally, the data is uploaded to the cloud so that the user can access information in real time from anywhere.

**Key words:** WSN, sensor, Arduino, Zigbee, environment variables.

## 1. Introducción

Debido a los impactos del cambio climático (incremento de la temperatura, aumento de Co<sub>2</sub> y variación en la acidez del suelo) se ha venido afectando la agricultura durante el proceso de cultivo. Estos se ven reflejados en la baja productividad y calidad en la mayoría de las cosechas, “tal vez se debe a la falta de un sistema de instrumentos que permitan al

agricultor conocer cuando y como producir según el clima” (Vera *et al.*, 2015, p. 1). No obstante, se ha venido trabajando en tecnologías inalámbricas con dispositivos más pequeños, económicos y de menor consumo energético que permiten monitorear diferentes variables por medio de sensores que realizan el proceso de toma de datos más continuo y eficiente en diferentes ambientes, ya sean invernaderos o a campo abierto, lo que facilita la toma de decisiones para mejorar los procesos de cultivos y cosecha. Lo anterior conlleva a reducir las pérdidas de cosechas por lo que se hace importante disponer de esta información en tiempo real.

\* Autor de correspondencia.

E-mail: sergio.ossa9@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5075-4853>

Google Scholar: [https://scholar.google.es/citations?view\\_op=list\\_works&hl=es&user=wteP-XoAAAAJ](https://scholar.google.es/citations?view_op=list_works&hl=es&user=wteP-XoAAAAJ)

Cómo citar este artículo:

Ossa, S.I. Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. *Revista Vector*, 12: 51-60.



En la zona geográfica del departamento de Caldas se hace necesario conocer el comportamiento de las variables meteorológicas para poder hacer un uso sustentable de los recursos de la naturaleza, como es el caso de actividades productivas del sector agrícola. Por lo cual, el objetivo de este artículo es conocer los conceptos relacionados con las redes de sensores y la tecnología Zigbee, de esta manera se encuentra la necesidad de evaluar y diseñar sistemas inalámbricos de monitoreo y la utilización de sistemas embebidos de tal forma que pueda llegar a ser implementada en la población de agricultores de la región, brindando una herramienta tecnológica que permita adquirir, adecuar, y transmitir la información de la monitorización de variables ambientales tales como la temperatura ambiente, humedad relativa y humedad del suelo a una estación base, donde los usuarios puedan acceder remotamente para visualizar y analizar la información de los datos recopilados en la red. Esta servirá para poner en marcha las técnicas más adecuadas en cada ciclo de los procesos de cultivo, supervisión y optimización de los métodos productivos de la agricultura, ofreciendo practicidad para el uso eficiente y sostenible de los recursos e insumos requeridos. “En la agricultura, las redes de sensores inalámbricos se usan para aumentar la eficiencia en la producción y el crecimiento de la cosecha” (Suárez *et al.*, 2014, 1).

## 2. Antecedentes

### 2.1 Wireless Sensor Network (WSN)

“Es la comunicación de dos o más sensores que monitorean cooperativamente grandes entornos físicos, formando así una red de sensores inalámbricos (WSN). Los nodos de sensores se comunican no sólo entre sí, sino también con una estación base (BS) por sus radios inalámbricos, lo que les permite difundir sus datos de sensores para un procesamiento remoto, visualización, análisis y sistemas de almacenamiento” (Manotas *et al.*, s.f., 1). “Estas redes normalmente se encuentran desplegadas en zonas remotas e inaccesibles, en los cuales conjuntos de nodos sensoriales que se distribuyen en el terreno y lo que básicamente hacen es trabajar de manera coordinada y de esta forma poder monitorizar los parámetros elegidos” (Dargie *et al.*, 2010). Los dispositivos son unidades autónomas que constan de un microcontrolador (MCU), una fuente de energía (casi siempre una batería), un radiotransceptor (Modulo Xbee) y un elemento sensor (humedad, temperatura) como se puede observar en la figura 1. El equipo de cómputo es utilizado para la visualización gráfica de los valores medidos por medio de una interfaz con el usuario.

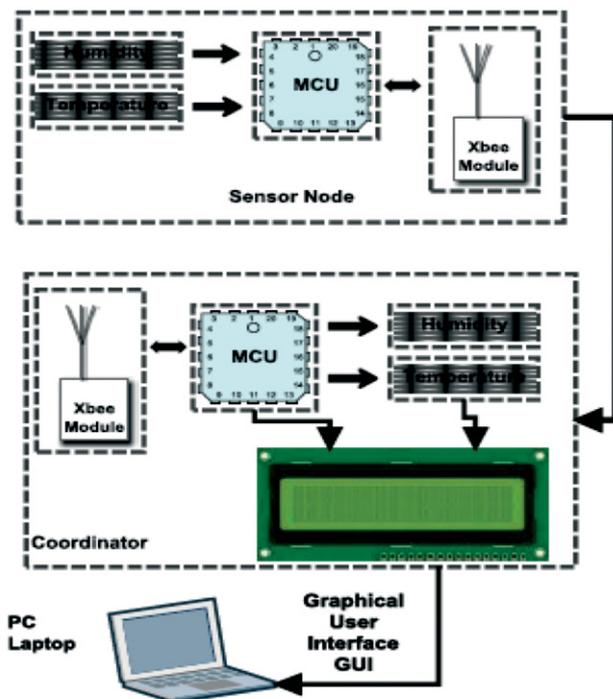


Figura 1. Diagrama esquemático del sistema de monitoreo inalámbrico (Suárez, 2014, p. 167). Nodo de red de integración de sensores los cuales están compuestos de los siguientes elementos: módulo de sensores, módulo de procesamiento, módulo de comunicación inalámbrica y módulo de alimentación.

### 2.1.1 Aplicaciones

Teniendo en cuentas las diferentes aplicaciones que pueden encontrarse para las WSN, se menciona para el caso una aplicación en el campo de la agricultura (para ello se muestran las etapas que utilizan en la agricultura de precisión), la cual consta de seis capas que se comunican y conectan entre sí, las cuales son: base de datos/archivo, computación en el laboratorio, comunicaciones, procesamiento de campo, sensor y ambiente físico (Villón, 2009, p. 20).

Así mismo, se muestra una variada compilación de las aplicaciones de WSN entre las que se destacan (Archila, 2013, p. 7):

#### Aplicaciones medioambientales:

- Seguimiento de animales
- Monitorización de las condiciones ambientales en cultivos
- Sistemas de riego automático
- Agricultura de precisión
- Detección de incendios forestales
- Detección de inundaciones
- Estudios de contaminación
- Prevención de desastres
- Monitorización de áreas afectadas por desastres, etc.
- Estudios sísmicos

#### Aplicaciones médicas:

- Tele-monitorización de datos fisiológicos en pacientes
- Diagnóstico
- Seguimiento de médicos y pacientes en hospitales.

#### Otras aplicaciones:

- Aplicaciones en el hogar/edificios
- Domótica
- Control de electrodomésticos
- Entornos inteligentes
- Control ambiental
- Aplicaciones industriales
- Seguimiento de vehículos

Cuando se trata del uso de las WSN en el campo de la agricultura se tiene el monitoreo y control de parámetros importantes en los invernaderos lo que contribuye a que “cada vez éstos estén más automatizados y sus condiciones más controladas para garantizar la correcta maduración de los alimentos” (Sung *et al.*, 2008, p. 425) y de la misma forma, con resultados experimentales en el crecimiento de las plantas, “la automatización puede ser conveniente bajo el cuidado de las plantas y la velocidad de crecimiento es significativamente más rápido” (Sung *et al.*, 2014, p. 425).

### 2.2 Protocolo Zigbee

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (*Wireless Personal Area Network*, WPAN) que operan a 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz y pueden transferir datos hasta 250 Kbps (Dignani, 2011, p. 5). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. La razón de ello son diversas características que lo diferencian de otras tecnologías:

- Ultra bajo consumo que permita usar equipos a batería (Dignani, 2011, p. 5).
- Velocidad de transmisión menor que 250 kbps. Típica: menor que 20 kbps
- Bajo costo de dispositivo, de instalación y mantenimiento de ellos.
- Su fácil integración (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).

#### 2.2.1 Características técnicas

##### Tipos de dispositivos:

Se definen tres tipos distintos de dispositivo Zig Bee según su papel en la red:

- *Coordinador ZigBee*. Debe existir al menos uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- *Router ZigBee*. Interconecta dispositivos separados en la topología de la red.
- *Dispositivo final*. Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un *router*), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos.

##### Topologías de red:

ZigBee permite cuatro topologías de red:

- *Topología par*: la red más simple.
- *Topología en estrella*: el coordinador se sitúa en el centro.
- *Topología en árbol*: el coordinador será la raíz del árbol.
- *Topología de malla*: al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones (Faduli, 2010, p. 28).

### 2.3 Productos destacados en el mercado

El desarrollo de la agricultura de precisión que define la gestión de parcelas con base en la observación, la medida y actuación frente a la variabilidad de cultivos, y apoyado con tecnologías de internet de las cosas (IoT) es una necesidad si, de acuerdo con la

FAO de la ONU, para 2050 la producción mundial de alimentos debería aumentar en un 70% para alimentar a 9.600 millones de personas. La Compañía Libelium y Beecham Research están aumentando y difundiendo el conocimiento sobre la agricultura inteligente como

una de las aplicaciones clave en el mercado de IoT, que ofrece una visión profunda de cómo las redes de sensores inalámbricos pueden impactar en la reducción de las pérdidas de cultivos y el aumento de la producción (Libelium, 2017).

### 2.3.1 Kit vertical de agricultura inteligente IoT de Libelium

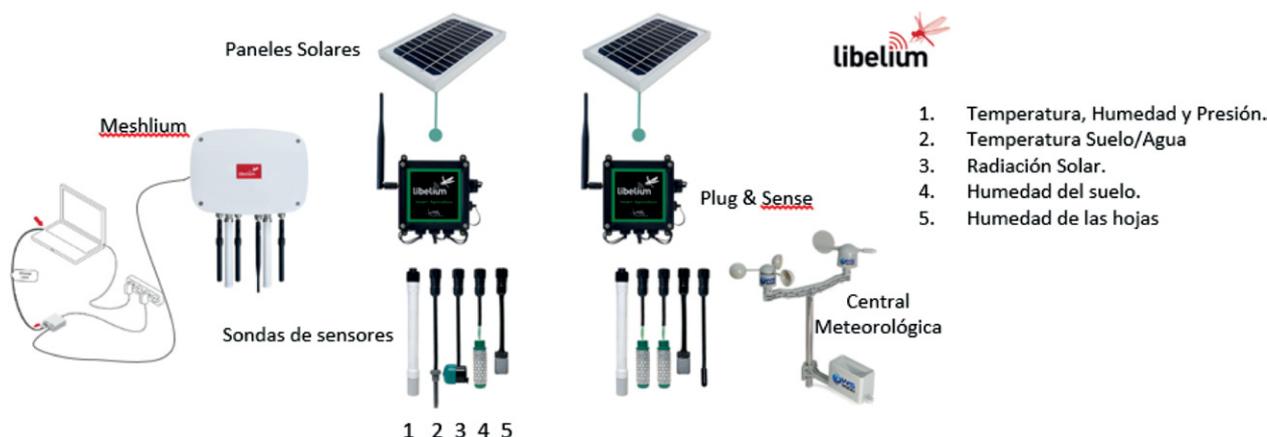


Figura 2. Kit vertical de agricultura inteligente (The IoT Marketplace, 2017).

El kit que se muestra en la Figura 2 tiene la capacidad para monitorizar los parámetros ambientales como humedad del suelo, temperatura, humedad relativa, humedad de las hojas, presión atmosférica y radiación solar en agricultura, viñedos e invernaderos. Lo anterior permite controlar la cantidad de azúcar en las uvas para mejorar la calidad del vino, así mismo controlar las condiciones del microclima para maximizar la producción de frutas y hortalizas en los invernaderos. Los sensores de humedad de suelo son útiles para reducir el desperdicio de agua mediante riego selectivo en zonas secas. Por otro lado, el control de la humedad y los niveles de temperatura pueden prevenir los hongos y otros contaminantes microbianos. Los valores medidos por las sondas de los diferentes sensores conectados, son recolectados en las unidades *Plug & Sense*, las cuales son alimentadas por medio de paneles solares, así mismo los datos son enviados de forma inalámbrica a la unidad central Meshlium. Ésta tiene conectividad a Ethernet y Wifi donde se puede conectar el PC para la visualización de toda data recibida de los diferentes nodos *Plug & Sense*, y finalmente ser subida a la nube (IoT). El *plugin* de visualización permite:

- Visualizar los datos en tiempo real.
- Mostrar gráficamente los datos medidos en diferentes periodos de tiempo. Es posible seleccionar, semanas o meses pasados.
- Comparar diferentes parámetros en el mismo nodo, y comprobar su evolución histórica de manera comparativa.

- Geolocalizar los nodos a través de GPS y un módulo de comunicación, y comprobar en un mapa visual los datos medidos para cada nodo.
- Es posible almacenar datos en una base de datos interna.
- Todos los datos pueden ser fácilmente exportados en formatos CSV y TXT (Libelium, 2017).

Con base en la tecnología Libelium, en el mundo se han desarrollado proyectos de gran impacto en el sector agrícola con agricultura de precisión, donde se puede encontrar un trabajo interesante en la Red TecnoParque Colombia regional Risaralda, que implementa la red de sensores inalámbricos para monitorear cultivos de plátano y mejorar la productividad (Libelium, 2017).

### 3. Metodología

Las redes inalámbricas de sensores en la última década se han convertido en tal vez uno de los avances más significativos con multitud de útiles aplicaciones. Por lo tanto, el propósito del artículo es explicar el diseño de un sistema de monitoreo remoto de variables ambientales con una red inalámbrica, que conecta una red de sensores para agricultura de precisión en invernaderos y permite la monitorización y control en tiempo real de parámetros de interés medioambiental, rendimiento y calidad de los sistemas de producción.

### 3.1 Descripción del sistema

El sistema se compone de dos nodos sensores (dispositivo final) y un dispositivo coordinador, como se evidencia en la figura 3. El nodo sensor es básicamente una unidad de adquisición de datos. Es el encargado de recopilar los datos de las variables ambientales como temperatura ambiental, humedad relativa, humedad del suelo y presión atmosférica. Las medidas de las variables son transmitidas al coordinador por medio de dispositivos Xbee que funcionan con el protocolo de telecomunicación inalámbrica Zigbee.

El coordinador actúa como unidad central del sistema. Es la encargada de recibir los datos adquiridos por los nodos sensores para procesarlos y enviarlos a un computador por medio de cable USB. A su vez,

está en la capacidad de controlar un sistema de riego automatizado para suministrar agua a los cultivos a necesidad de los mismos, controlar el cierre o apertura de sistemas de escotillas o ventanas para la ventilación de los invernaderos, y de la misma forma, maneja un sistema de alarma sonora cuando algún parámetro de medida de las variables ambientales se encuentra fuera de los rangos normales. Los datos son analizados y mostrados en un entorno gráfico con software Processing, el cual muestra señales de alertas y finalmente son subidos a la nube para que los usuarios puedan acceder a la información remotamente desde cualquier lugar.

Los nodos se encuentran interconectados con topología en estrella.

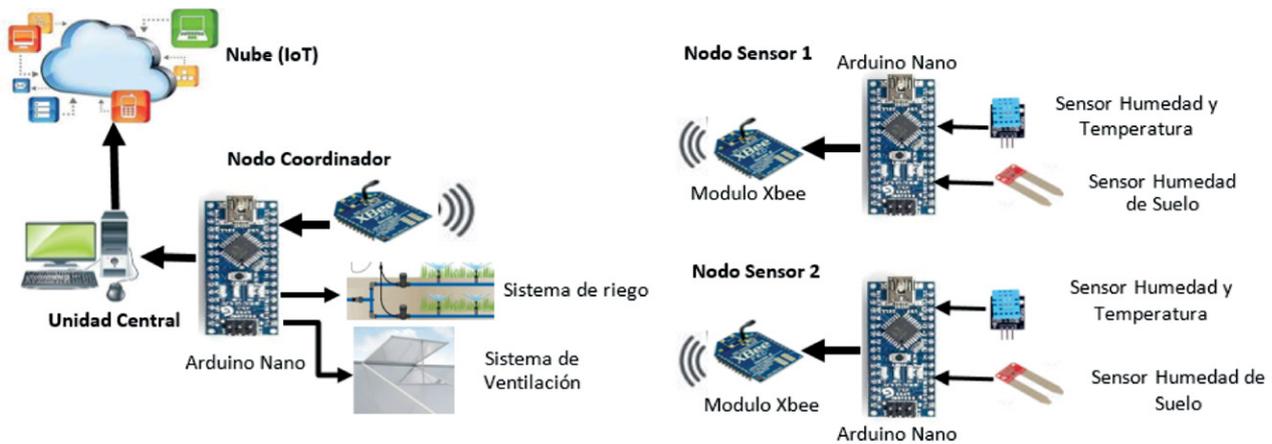


Figura 3. Esquema general del proyecto para el monitoreo remoto de variables ambientales.

A continuación se describen las cuatro partes principales del sistema:

#### 3.1.1 Nodos sensores o dispositivos finales.

Compuesto por cuatro elementos:

- *Módulo de sensores.* Encargado de recolectar la información de las variables ambientales.
- *Módulo de procesamiento.* Sistemas embebidos Arduino nano, son utilizados para interconectar todas las entradas procedentes de los sensores, recopilación de datos y además proporcionar alimentación eléctrica a los sensores y los módulos Xbee.
- *Módulo de comunicación inalámbrica.* Módulos Xbee que funcionan con tecnología Zigbee. Capaces de comunicarse con el nodo coordinador. Son los encargados de transmitir los datos en tramas desde los nodos finales hacia el nodo coordinador.
- *Módulo de alimentación.* Fuente de alimentación compuesta por baterías alcalinas de 9 Vdc, las

cuales entregan el voltaje suficiente para la alimentación general de cada nodo final. Éstas van conectadas en los Arduinos.

#### 3.1.2 Nodo Coordinador. Compuesto por cuatro elementos:

- *Módulo de comunicación inalámbrica.* Módulos Xbee que funcionan con tecnología Zigbee. Capaz de comunicarse con los nodos finales. Es el encargado de recibir las tramas de datos enviadas desde los nodos finales provenientes desde los sensores y transmitirlas por comunicación serial al módulo de procesamiento o sistema embebido.
- *Módulo de procesamiento.* Sistema embebido Arduino nano, encargado de recibir los datos mediante comunicación serial desde el módulo inalámbrico, controlar sistema de riego automatizado, sistema de escotillas o ventanas, sistema de alarma sonora y además proporcionar alimentación eléctrica al módulo Xbee.

- *Módulo wifi*. Encargado de la conectividad a internet para subir los datos a la nube (IoT).
- *Módulo de comunicación USB*. Permite la conexión y comunicación directa entre el nodo coordinador (desde el sistema embebido Arduino nano) y el PC para la transmisión de los datos, así mismo proporciona alimentación eléctrica al nodo.

- Alcance máximo con visión directa (aire libre) 120 m.
- Entradas/salidas digitales: 9
- Entradas análogas: 4 (con conversor análogo/digital de 10 bits).
- Velocidad de transmisión: 250 Kbps.
- Frecuencia de operación: 2.4 GHz.

### 3.1.3 Interface del usuario

La data de cada nodo final proveniente de los sensores es analizada y mostrada en un entorno gráfico construido en software Processing, un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java (Processing, 2017). Adicionalmente, la data se envía a la nube para que los usuarios puedan acceder a la información desde cualquier lugar (IoT). En un futuro se contará con un sistema de alertas que actúe cuando algún parámetro medido se encuentre fuera de los valores normales.

### 3.1.4 Plataforma IoT

Las plataformas IoT permiten el registro de datos adquiridos por sensores, el enrutamiento de datos en tiempo real y el control remoto de dispositivos. Además, proveen una interfaz como punto de acceso a sus recursos a través de protocolos de internet que permite interactuar con lenguajes de alto nivel como LabView, Matlab y Python, para realizar procesamiento de datos y accionar remotamente un dispositivo (Wong *et al.*, 2016).

## 3.2 Selección y descripción de los componentes requeridos para el diseño de la red

La selección de dispositivos con los cuales realizar el diseño de la red inalámbrica de sensores para la adquisición y monitoreo remoto de las variables ambientales, debe cumplir con las características esenciales del protocolo de telecomunicaciones ZigBee.

### 3.2.1 Módulo XBee 2mW RPSMA – Series 2 PRO

Permite crear redes malladas complejas basadas en el firmware Zigbee XBee ZB. Estos módulos permiten una comunicación fiable y sencilla entre microcontroladores, ordenadores, sistemas, y todo aquel elemento que tenga puerto serie. Soporta tanto redes punto a punto como redes multipunto (Martínez, 2014). En nuestro caso se usan estos módulos para proporcionar la capacidad necesaria para crear una red con topología en estrella.

#### Especificaciones técnicas (Digi, 2017):

- Voltaje de operación: 2.7 – 3.6 Vdc
- Corriente de operación: 40mA @ 3.3 Vdc
- Alcance máximo con obstrucción (interior) 40 m

### 3.2.2 Arduino nano

El Arduino nano es un sistema embebido con microcontrolador ATmega328. Tiene 14 entradas / salidas digitales (de las cuales 6 proveen de salidas PWM), y 8 entradas analógicas. Voltaje de alimentación de entrada recomendado de 7-12Vdc y además provee salidas de voltajes fijos de 3.3 y 5 Vdc. Esta tarjeta lee los puertos digitales de entrada en donde se conectan los sensores para calcular y muestrear la magnitud de las variables, y enviar al puerto serial de salida un paquete con el muestreo de dichas señales (Arduino, 2017).

### 3.2.3 Arduino WiFi Shield CC3000

Utiliza interfaz SPI para comunicación (No UART), soporta protocolo 802.11b/g, open/WEP/WAP/WAP2 security. Incorpora un *stack* TCP/IP tanto como cliente y servidor, permitiendo un máximo de cuatro conexiones concurrentes; diseñado especialmente para tarjetas Arduino y tiene su propia fuente de regulación 3.3V, antena embebida en la tarjeta y funcionalidad de red WiFi semejante a un celular o dispositivo móvil.

### 3.2.4 Sensor de temperatura y humedad DHT11

Se caracteriza por tener la señal digital calibrada de fábrica por lo que asegura una alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo. Además, contiene un microcontrolador de 8 bits integrado que ofrece excelente calidad, respuesta rápida y gran relación precio-efectividad. Puede medir humedad relativa en un rango de entre 20% y 95%, y temperatura entre 0°C y 50°C. Voltaje de operación 3 – 5.5Vdc.

### 3.3.4 Sensor humedad de suelo S E N -13322

Este sencillo sensor permite medir la humedad de la tierra o de otro entorno similar. Con sus dos patas, este sensor se pone en la tierra y actúa como una resistencia variable. Cuando más agua se encuentra en el suelo (tierra), mejor es la conductividad entre las dos patas del sensor, más baja es la resistencia y más alta es la señal de salida (SparkFun, 2017).

## 3.3 Software

### 3.3.1 IDE de Arduino

“Arduino es una plataforma electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar.

Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquier interesado en crear entornos u objetos interactivos” (Arduino, 2017). Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el lenguaje de programación de alto nivel Processing. Este software es utilizado para programar los sistemas embebidos Arduinos nano. El software es gratuito y puede descargarse directamente de la plataforma.

### 3.3.2 X-CTU

Software libre para la configuración de los módulos Xbee, el cual permite realizar operaciones de manera más natural, fácil y rápida y puede ser descargado directamente de la plataforma Digi International.

### 3.3.3 Processing

Ya se comentó anteriormente la necesidad de programar una interfaz que permite al usuario observar en tiempo real los datos que llegan al nodo coordinador. Este se desarrolla con lenguaje de programación Processing puesto que Arduino está basado en él. Este software libre puede ser descargado gratuitamente de la plataforma Processing.

## 3.4 Plataforma IoT

### 3.4.1 Ubidots

Ubidots provee una clave API a cada usuario que se utiliza como identificador de autenticación cuando se transmiten los datos de los sensores a la nube (UBIDOTS, 2014). Ésta permite registrar hasta 30.000 datos de forma gratuita por mes, si se requiere registrar más datos al mes, se puede optar por pagar un plan de servicio que ofrece esta plataforma según sea necesario (Palomino *et al.*, 2015).

## 4. Resultados

Los Arduinos de los nodos sensores son programados para recibir los valores medidos de cada sensor y procesarlos, y así mismo, enviar los datos a la central de monitoreo. El Arduino del nodo central es programado para recibir la data de los demás nodos sensores, analizar los valores medidos, determinar si éstos se encuentran dentro de los rangos programados y controlar automáticamente el sistema de riego, sistema de ventilación y sistema de alarmas sonoras.

La función principal de la interfaz de usuario es la de monitorear las magnitudes de las variables ambientales del sistema en tiempo real, actualizar y mostrar

gráficamente los valores medidos, provenientes de cada nodo sensor. También se prevé visualizar señales de alertas y alarmas, mostrar si los sistemas de riego automatizado y de ventilación se encuentran activos.

Cuando ocurre un evento, que alguna variable ambiental se encuentra fuera de los rangos de parámetro establecidos para cada uno de ellas, o valores que se hayan considerado críticos, en la interfaz del usuario se visualizan señales de alerta y el sistema activa un sonido de alarma. Los rangos establecidos para cada variable ambiental depende del tipo de cultivo y estos parámetros son suministrados por personal con experiencia en el tema.

El sistema tiene la posibilidad de almacenar la data en una base de datos, esta puede ser fácilmente exportada en formato TXT con los valores medidos en cada nodo sensor y su respectiva fecha y hora, donde es posible seleccionar data por días, semana y meses para ser analizada.

El diseño dispone en su programación, el control de un sistema de riego automatizado que permitirá el suministro de agua al suelo si este lo requiere. Cuando los nodos de sensores detectan que el suelo se encuentra seco, el dispositivo activa el sistema de riego para suministrar agua hasta el punto de humedad que lo requiera. El sistema de riego permite la aplicación de agua y químicos, de manera directa y puntual. El sistema de ventilación natural o pasiva funciona por medio de apertura o cierre de escotillas o ventanas ubicadas ya sea en el techo o sobre las paredes laterales de los invernaderos. La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del invernadero para actuar sobre la temperatura y humedad en el interior del invernadero, de esta forma, la entrada de corrientes de aire contribuye a disminuir las temperaturas elevadas y reducir el nivel higrométrico (humedad).

Finalmente, toda la información es subida a la nube donde los usuarios pueden acceder desde cualquier dispositivo conectado a internet y en cualquier lugar. Así mismo, permite ver gráficamente la evolución de las variables ambientales y estado de señales de alertas dando lugar al IoT en agricultura de precisión.

En la figura 4 se describen los avances del proyecto que se está desarrollando con TecnoParque y TecnoAcademia SENA, de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo como se puede evidenciar en la Figura 7, el cual será implementada en un invernadero que se encuentra en construcción en las instalaciones de TecnoAcademia.

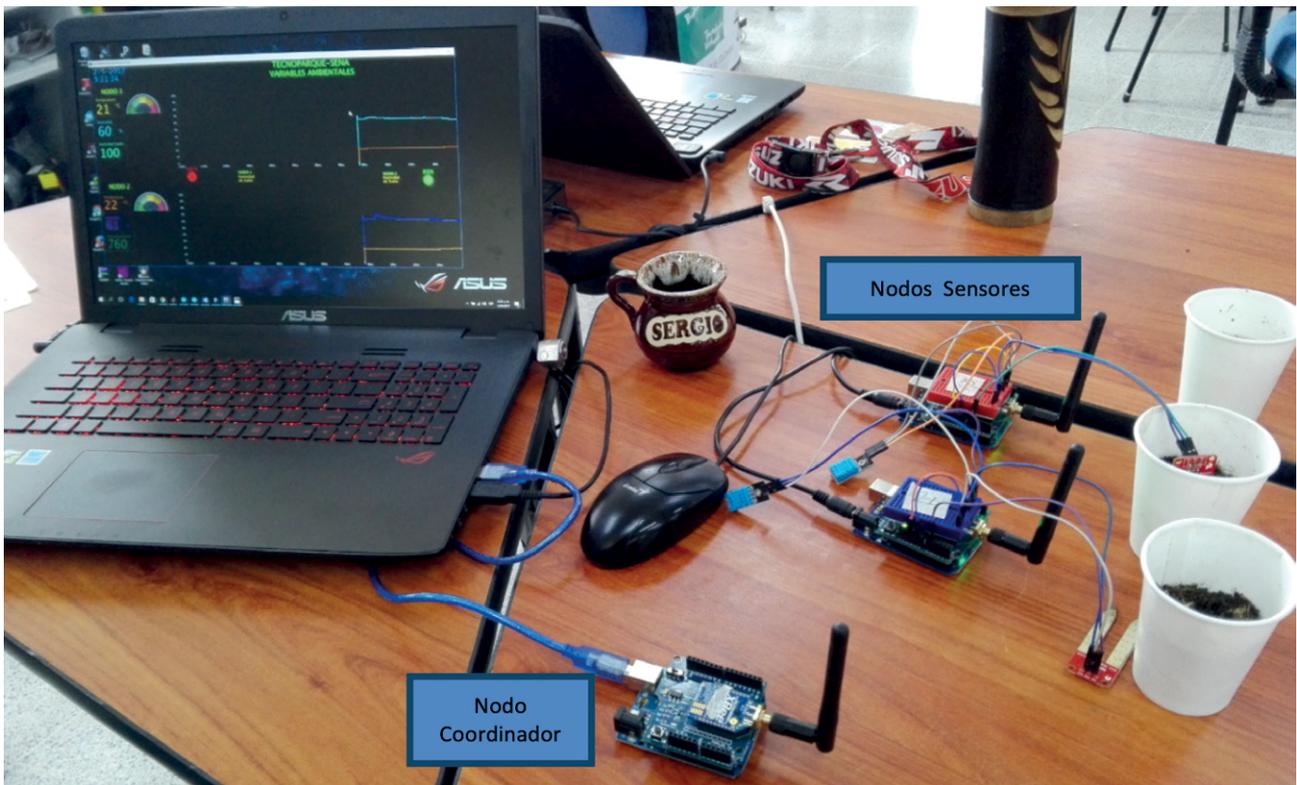


Figura 4. Red inalámbrica de sensores para el monitoreo de variables ambientales.

En la Figura 5, se evidencia la interfaz del usuario diseñada, donde se visualizan las lecturas de los sensores de los diferentes nodos de la red en forma

numérica y gráfica para observar la evolución en el tiempo de estas variables.



Figura 5. Interfaz del usuario diseñada en Processing.

Se realizan pruebas de distancia para determinar el alcance máximo a la cual los módulos inalámbricos Xbee Serie2 PRO pueden transmitir los datos de manera confiable, sin tener pérdida de datos y caída de la señal, encontrando que tiene un alcance máximo de 60 metros en campo abierto.

En la figura 6, se evidencia que se guardan los datos en la plataforma Ubidots por medio de la tarjeta Arduino Wifi CC3300.

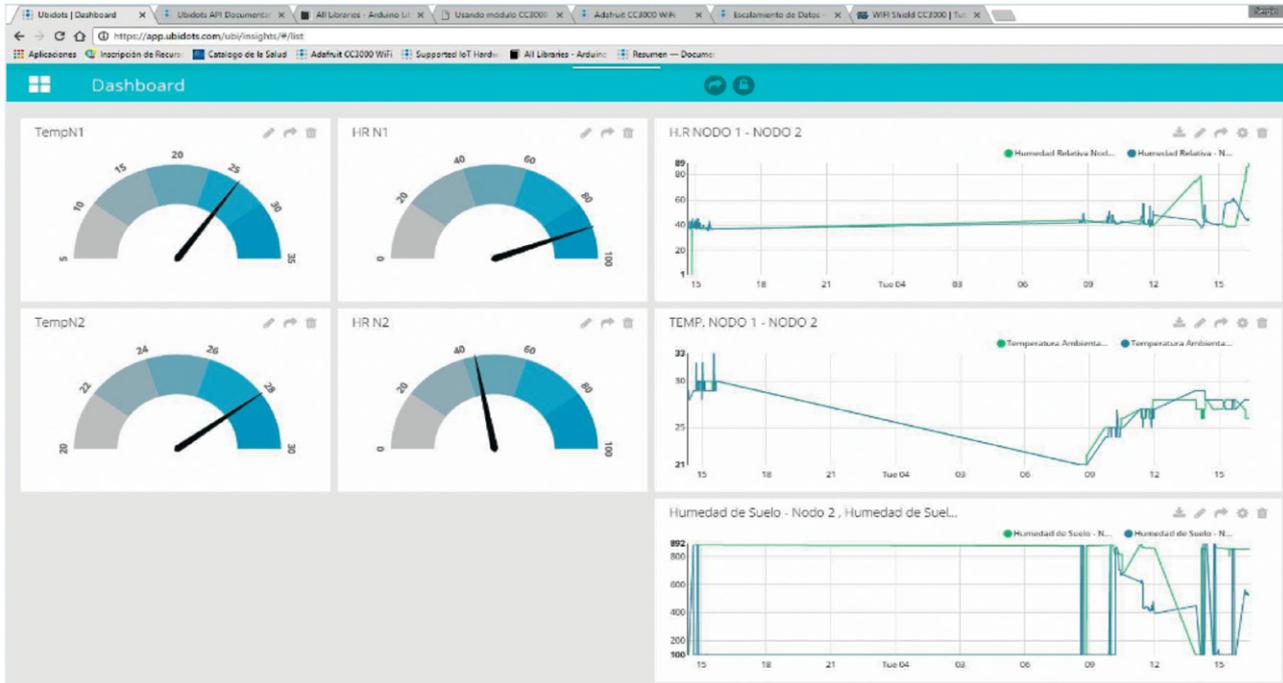


Figura 6. Plataforma IoT de Ubidots donde se suben a la nube los valores medidos de las variables ambientales de los diferentes nodos de la red.

## 5. Conclusiones

- El diseño de la plataforma de monitoreo remoto de variables ambientales en tiempo real para agricultura de precisión con WSN utilizando tecnología Zigbee y sistema embebido Arduino, por su bajo costo es rentable para los usuarios y puede llegar a ser implementada fácilmente, ya que cuenta con hardware y software libre que no requiere el pago de licencias.

- Con la implementación del sistema de riego y ventilación controlado automáticamente, se aumenta el ahorro de agua y energía para minimizar el daño ambiental, de esta manera se previene el deterioro de los cultivos, se tiene un mejor control del agua buscando incentivar el uso eficiente y ahorro de los mismos.

- De acuerdo con la vigilancia tecnológica realizada sobre las plataformas existentes para el monitoreo remoto de variables ambientales aplicadas a cultivos, se determina que hay pocos dispositivos comercializados en la actualidad. La tecnología Libelium es una de las herramientas utilizadas en el mundo, así mismo, es una de las más completas en el mercado, pero es de un costo muy elevado, la cual no llegaría a ser fácilmente implementada en los cultivos de la región.

- En su programación de la interfaz del usuario falta implementar las señales de alerta, ya que los rangos de medida de las variables ambientales son determinados por el grupo de investigación. Así mismo, faltan las pruebas e implementación del sistema de riego y ventilación automático.

## Referencias

- Archila, D. M. (2013). Estado del arte de las redes de sensores inalámbricos. *REVISTA DIGITAL TIA*. (UPTC): 1-23.
- ARDUINO. (2017). Plataforma de código abierto. Arduino Board Nano. Disponible en: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>> [Visitada en marzo 2017].
- Dargie, W., Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice*. West Sussex (UK): John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- DIGI. (2017). Digi International, Inc. X-CTU Software. Minnesota (USA). Disponible en: <<https://www.digi.com/support/productdetail?pid=3352&type=utilities>> [Visitada en marzo 2017].
- Dignani, J. P. (2011). *Análisis del protocolo Zigbee*. Trabajo final integrador de especialización en Redes y Seguridad. La Plata (Argentina): Facultad de Informática, Universidad Nacional de la Plata. 42 p.
- Faduli, R. (2011). *Building Wireless Sensor Networks*. (USA): Published by O'Reilly Media, Inc.
- LIBELIUM. (2017). *Multinacional tecnológica*. Zaragoza (España). Disponible en: <<http://www.libelium.com/white-paper-enabling-the-smart-agriculture-revolution/>> [Visitada en marzo 2017]. <<http://www.libelium.com/improving-banana-crops-production-and-agricultural-sustainability-in-colombia-using-sensor-networks/>> [Visitada en marzo 17/03/2017].
- Manotas, A., Acosta, R., Romero, A. (2014). *Revisión del estado del arte de las redes Zigbee en WSN*. Disponible en: <<http://publicaciones.unisimonbolivar.edu.co/rdigital/innovacioning/index.php/identific/article/view/76/78>> [Visitada en marzo 2017].
- Martínez, R. (2014). *Análisis y diseño de una red inalámbrica de sensores para un proyecto agrario*. Proyecto fin de carrera. Catalunya (España): Ingeniería Técnica de Telecomunicación, Especialidad en telemática, Universitat Oberta de Catalunya. 60 p.
- Palomino, L.E., DA SILVA, G. (2015). Solar radiation monitoring using electronic embedded system Raspberry Pi database connection MySQL, Ubidots and TCS-230 sensor. En: *2015 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1109/chilecon.2015.7400420>>.
- PROCESSING. (2017). *Plataforma de código abierto. Processing Download*. Disponible en: <<https://processing.org/download/?processing>> [consulta: 12/03/2017].
- Suárez, M.J., SUÁREZ, J. C. (2014). Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología Zigbee. En: *6º Congreso Argentino de AgroInformática, CAI 2014*. Bogotá (Colombia): Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Sung, W.T., Chen, J.H., Hsiao, C.L.; Lin, J.S. (2014). Multi-Sensors Data Fusion Based on Arduino Board and XBee Module Technology. En: *2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control*. Taichung (Taiwan): Department of Electrical Engineering National Chin-Yi University of Technology.
- THE IoT MARKETPLACE. (2017). Disponible en: <<https://www.the-iot-marketplace.com/libelium-smart-agriculture-vertical-kit>> [Visitada en marzo 2017].
- UBIDOTS. (2014). *Ubidots API Documentation*. Bogotá (Colombia): UBIDOTS. Disponible en: <[http://ubidots.com/docs/get\\_started/overview.html](http://ubidots.com/docs/get_started/overview.html)> [Visitada en marzo 2017].
- Vera, C. A., Barbosa, J.E., PABÓN, D.C. (2014). *Plataforma meteorológica de bajo costo basada en tecnología Zigbee*. Grupo de investigación para el Desarrollo Tecnológico, Económico y Social – GRINDES. Pamplona (Colombia): Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Villon, D. (2009). *Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión*. Tesis para optar el título de ingeniero electrónico, Lima (Perú): Pontificia Universidad Católica del Perú. 117 p. Disponible en: <<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/266?show=full>> [Visitada en marzo 2017].
- Wong, B., Kerkez, B. (2016). Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services. *Environmental Modelling & Software*, 84: 505-517. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.020>> [ Visitada en marzo 2017].