

Diseño de una red de sensores con tecnología 802.15.4 basado en el concepto de agricultura de precisión aplicada a cultivos de hortalizas bajo invernadero: Una prueba piloto

Jenny A. Palacios E., Karina L. Ponce G., Edgar A. Maya O, Diego H. Peluffo O., Karla P. Negrete, Hernán M. Domínguez

CIERCOM/FICA, Universidad Técnica del Norte, Avenida 17 de Julio 5-21 y José María Córdova, Ibarra, Ecuador.

Autores para correspondencia: {japalacios, klponceg, eamaya, dhpeluffo, kpnegrete, hmdominguez}@utn.edu.ec

Fecha de recepción: 04 de junio del 2017 - Fecha de aceptación: 6 de agosto 2017

ABSTRACT

This research consists in the application of concepts of precision agriculture, within a Wireless Sensor Network (WSN) context. The overall objective is monitoring of environmental variables affecting crop development and using this information to optimize the control of a drip irrigation system in the greenhouse of the farm "La Pradera". The study aims a better use of the irrigation water, the design of a data storage system for the parameters under study, and the development of a knowledge base to carry out the prediction of the irrigation parameters.

Keywords: Cloud computing, IEEE 802.15.4, network, sensors, WSN, Zigbee.

RESUMEN

La presente investigación consiste en aplicar conceptos de agricultura de precisión en una WSN, para optimizar el control de un sistema de riego por goteo y el monitoreo de agentes ambientales involucrados en un cultivo de hortalizas bajo invernadero de la granja "La Pradera". El objetivo del estudio es lograr un mejor aprovechamiento del agua de riego y obtener un sistema de almacenamiento de datos de los parámetros a ser estudiados, y constituir una base de conocimiento para realizar la predicción de dichos parámetros.

Palabras clave: Computación en la nube, IEEE 802.15.4, Red, Sensores, WSN, Zigbee.

1. INTRODUCCIÓN

Un invernadero es una estructura cubierta de vidrio o plástico, destinado a la horticultura, que tiene la capacidad de cultivar plantas en climas no apropiados para su desarrollo. En la actualidad, se utiliza sistemas de riego automático para el ahorro de agua y dinero; principalmente, basados en redes de sensores inalámbricas (WSN). Dichas redes constan de un nodo sensor, un Gateway, una estación base y la red inalámbrica (Integrantes del Grupo de Investigación EDMANS, 2009). Esto hace parte del concepto de agricultura de precisión, el cual tiene como fin mejorar el rendimiento de las plantaciones utilizando tecnología moderna basada en sensores. Esto permite tener un almacenamiento de datos y el acceso a los mismos, de manera que ayuden al agricultor a ver las variaciones de los parámetros. Particularmente, en esta investigación se realiza una prueba piloto en la granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte, la cual posee un invernadero que representa un valor agregado significativo para la carrera de Ingeniería Agropecuaria, dado que permite poner en práctica conceptos teóricos sobre la calidad y el desarrollo de los cultivos.

En la actualidad, la granja La Pradera, cuenta con cultivos agrícolas de distintas especies, los cuales han presentado un bajo aprovechamiento del suelo, al no poder predecir los constantes cambios de luminosidad, temperatura ambiente, humedad relativa, humedad de suelo y la cantidad CO₂, que son los principales factores que intervienen en los cultivos y los que pueden causar una mala calidad de producción en proporciones no adecuadas. El proceso utilizado actualmente para el riego es un goteo manual y obsoleto, el cual se realiza de forma empírica y sin metodología en base a los requerimientos del cultivo.

En este artículo se presenta un diseño adecuado para controlar el riego, monitorear los agentes ambientales que intervienen en el proceso de crecimiento de una planta, y disponer de un registro de la información de las plantaciones. Dicho diseño podrá satisfacer las necesidades de los cultivos, lo que conlleva a mantener técnicas de cuidado de cultivos en base a la agricultura de precisión, apoyándose en el uso de tecnologías de la información para obtener el máximo rendimiento de cada plantación. Específicamente, se propone una solución basada en una serie de sensores, entre ellos: YL-69 & YL-38 para medir la humedad de suelo, DHT11 para la humedad relativa y temperatura ambiente, MQ135 para la medición de CO₂ y BH1750 para la medición de luminosidad; además de dispositivos y una aplicación informática que permitan obtener información detallada del cultivo. Con todo este sistema, se logra impactar directamente en el desarrollo adecuado de los procesos de crecimiento de los cultivos y, por tanto, mejorar la calidad de los productos resultantes.

El resto de este documento está organizado de la siguiente manera: La sección 2 explica y describe los materiales y métodos. En la sección 3, se menciona y se discute los resultados obtenidos. Finalmente, la sección 4 cita las conclusiones obtenidas de esta investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Parámetros de estudio en agricultura*

A - Humedad de suelo

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Su medición exacta se realiza gravimétricamente, pesando una muestra de suelo antes y después del secado. Esta es de gran importancia debido a que el agua constituye un factor determinante en la formación, conservación, fertilidad y productividad del mismo, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

B - Humedad relativa

La humedad relativa es única por cada tipo de cultivo, es la cantidad de agua contenida en el aire. Se encuentra relacionada a la humedad existente en el suelo y a la temperatura ambiente, siendo de esta última inversamente proporcional, esto quiere decir que si la temperatura aumenta la humedad relativa disminuye, al no poseer una cantidad correcta vital de humedad en las plantas se produce la baja de fotosíntesis. La humedad promedio dentro de un invernadero para un cultivo de hortalizas es de 55% a 70% (Iglesias, 2009).

C - Temperatura ambiente

La temperatura existente en las plantas influye directamente con el proceso de la fotosíntesis, crecimiento y desarrollo de las mismas; de forma que es el parámetro más importante del control climático dentro de un invernadero. La temperatura ideal para el proceso vital de hortalizas dentro de un invernadero se encuentra en los rangos de 15°C a 25°C (Iglesias, 2009).

D - Cantidad de CO₂

La cantidad de CO₂ se presenta en el tejido vegetal por medio del proceso de fotosíntesis, la concentración óptima para que exista este proceso es de 800 a 1,000 ppm (Lorenzo, 2012). El anhídrido carbónico de la atmósfera es la materia prima que no puede faltar en la función de producir clorofila en

las plantas. Dentro de los invernaderos los niveles de este gas son muy variados ya que tiene una estrecha relación con la luminosidad, la ventilación, la humedad y temperatura; esto dependerá mucho del tipo de cultivo que se vaya a realizar.

E - Luminosidad

La radiación solar es la fuente principal de energía para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, al tener una gran incidencia en la producción y reproducción de las plantaciones. Dentro de un invernadero cuando la cantidad de luz aumenta, se logra aumentar la temperatura, la humedad relativa y la cantidad de CO₂, teniendo un proceso de fotosíntesis óptimo. El nivel promedio de luz que necesitan los cultivos de hortalizas para sobrevivir dentro de un invernadero esta entre los 10,000 a 40,000 lux (Iglesias, 2009).

2.2. Descripción general del sistema propuesto

El sistema consta de un nodo central y varios nodos remotos. El nodo central se representa como Gateway entre la red de sensores y la estación central que puede ser una PC, una red LAN o directamente la Internet. El nodo central tiene como función almacenar toda la información recolectada por cada uno de los nodos sensores, y que el encargado del invernadero pueda acceder a esa información e interpretarla, para que pueda tomar las decisiones del trato del cultivo. Los nodos sensores recogen las variables que vienen del cultivo, para posteriormente enviar al nodo central por medio de la ayuda de la comunicación Zigbee.

Los nodos sensores constan de una unidad de adquisición de datos con sus sensores, una unidad de procesamiento y envío de datos. Su trabajo es adquirir las variables y enviarlas a la estación base. La estación base es una interfaz entre la red LAN y la comunicación inalámbrica, y tiene como función recibir la información tomada de cada nodo sensor.

Uno de los principales requerimientos para el diseño del sistema es que todos los nodos sensores tengan comunicación entre sí, es decir que exista redundancia de comunicación. La topología elegida para cumplir esa característica es de tipo malla, su principal objetivo es que todos los dispositivos estén comunicados permitiendo que la comunicación nunca se interrumpa por todas sus conexiones existentes.

Uno de los objetivos del presente diseño el tener un sistema controlado de riego, que permita el suficiente suministro de agua, con la cantidad necesaria de humedad que permita el crecimiento óptimo de la planta y el ahorro de agua.

2.3. Arquitectura

La arquitectura del sistema se subdivide en tres etapas primordiales (Figura 1) que son:

- La WSN: Etapa que comprende la topología tipo malla, los nodos sensores, el nodo central y la transmisión de datos IEEE 802.15.4.
- Sistema de control: Se trata del sistema de riego controlado.
- Computación en la nube: Comprende el Gateway y la plataforma PAAS (Plataforma como Servicio).

2.4. Diseño de la red de sensores inalámbrica

La red de WSN se construye básicamente de tres nodos sensores y un nodo central o Gateway que actúa como medio para la comunicación de los módulos sensores y la estación base, permitiendo que los datos extraídos por los nodos sean transmitidos a la nube con el uso de la plataforma PAAS, como se detalla en la Figura 2.

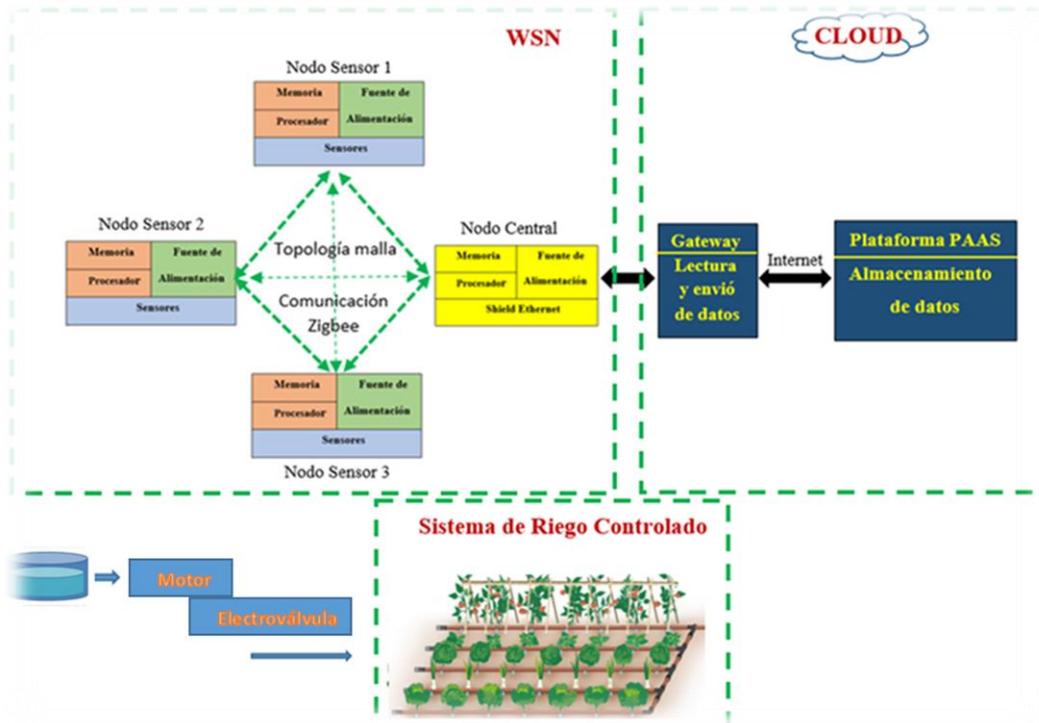


Figura 1. Arquitectura del sistema de monitoreo y control, describiendo la red WSN, cloud y el sistema de riego controlado.

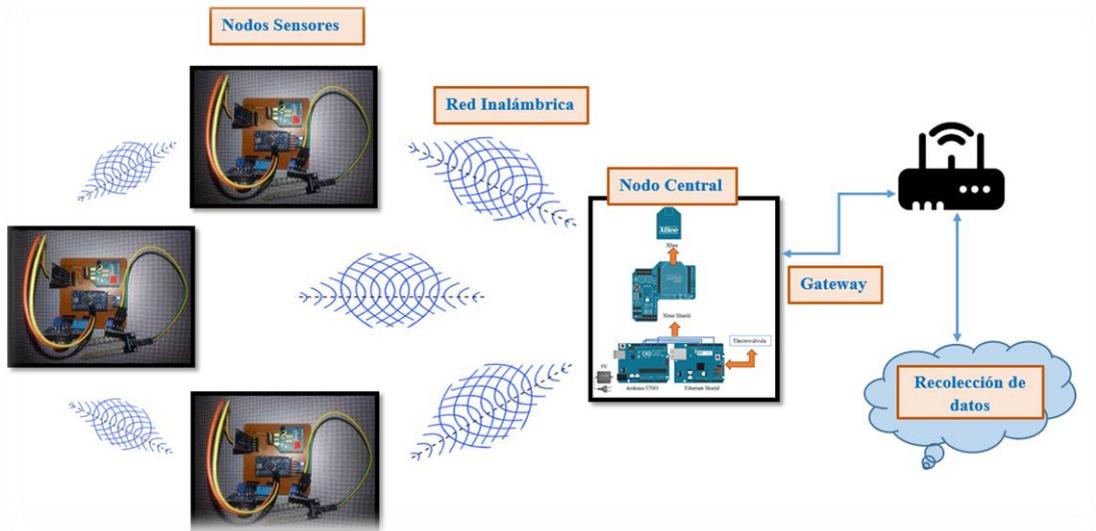


Figura 2. Diseño de la WSN, detallando cada uno de los elementos que se encuentra conformada.

El propósito del sistema de riego controlado, teniendo un rango estimado de las magnitudes adecuadas, es dar el suministro de agua que necesite el invernadero. En el sistema se mide la humedad de suelo, temperatura ambiente, humedad relativa, luminosidad y cantidad de CO₂, que son parte de los parámetros más sobresalientes que se encuentra en el concepto de Agricultura de Precisión, dando la facilidad para que los estudiantes de la granja lleven un registro de datos mediante el uso de una interfaz hacia un escenario ubicado en la nube. La variable primordial para llevar a cabo el control del sistema de riego es la humedad de suelo, que luego del proceso de sensado se transmite al nodo principal y da un signo de respuesta para activar el sistema.

Los demás parámetros para analizarse tienen como función dar una respuesta del comportamiento del cultivo que servirá como ayuda a los estudiantes y docentes que se encuentran laborando en la granja y a su carrera, proporcionando información obtenida de todas las variables, y almacenándolas en una base de datos.

Como parte de aviso que el invernadero necesita de suministro de agua y dar la respuesta de activación al sistema de riego, se envía un correo al encargado del invernadero como alerta de la falta de líquido vital en la plantación, y que el personal pueda estar informada del suceso.

Módulo nodo central

El nodo central se encarga de la recepción de datos de cada uno de los nodos sensores, por medio del uso de los módulos Xbee; además del envío de datos recolectados por los mismos hacia la plataforma web. La Figura 3 muestra el módulo central que está compuesto por un Arduino UNO, unido a un Ethernet Shield, un Shield para ubicar el módulo Xbee y un adaptador de alimentación de 9V.

Módulo nodo sensor

En cada uno de los módulos sensores se utiliza el Arduino mini-pro, incluyendo una adaptación de Shield para la ubicación del módulo Xbee que posee un pequeño circuito regulador de voltaje para suministrar el voltaje al que trabaja el módulo Xbee, además de la ubicación de cada uno de los sensores.

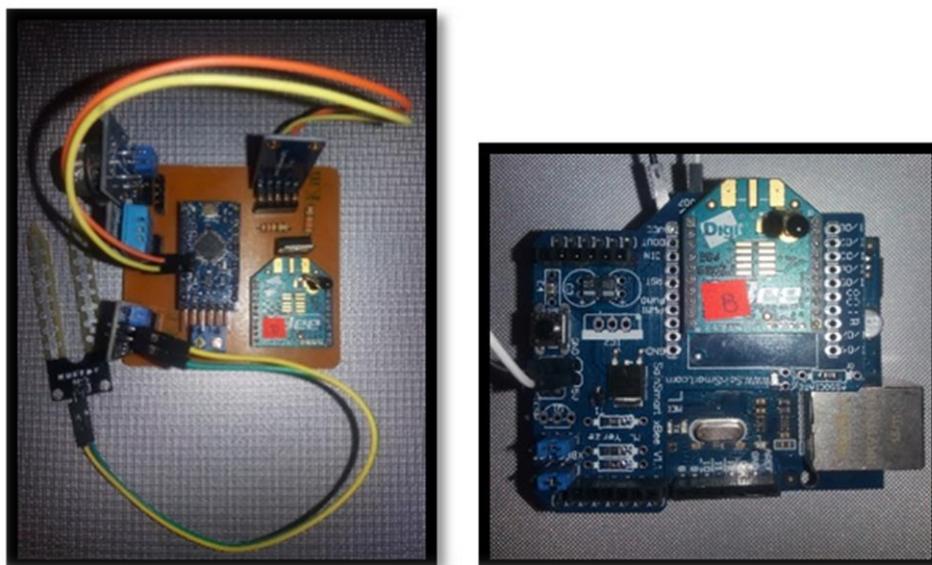


Figura 3. Nodo sensor y nodo central conformado con cada uno de los elementos para su funcionamiento.

2.5. Alimentación del circuito

Para que exista un funcionamiento de los nodos sensores de la red WSN, se necesita de una fuente de alimentación. Para este caso se decidió tomar en cuenta el hecho que son nodos sensores inalámbricos, así que se utiliza baterías de litio para proporcionar energía a los nodos y sean netamente nodos inalámbricos.

Cálculos de alimentación

Para la alimentación de los nodos sensores se escogió baterías Litio de 3.7 V a 800 mAh, teniendo en cuenta las características de la batería, los cálculos de la vida útil son los siguientes.

Tabla 1. Consumo de dispositivos en un nodo sensor.

Elemento	Modo Normal (mA)	Modo Dormido (mA)
Sensor DHT11	1	1
Sensor BH1750	7	7
Xbee	33	0.001
Arduino Mini Pro	40	40
TOTAL	81	48.001

La estimación del consumo es para determinar la vida útil de una batería y su cálculo se indica en la ecuación 2:

$$Consumo = \frac{T_{cn} * I_{cn} + T_{cd} * I_{cd}}{T_{cn} + T_{cd}} \quad (1)$$

donde: T_{cn} = Tiempo consumo normal, T_{cd} = Tiempo consumo dormido, I_{cn} = Intensidad de corriente consumo normal, I_{cd} = Intensidad corriente consumo dormido

Para el desarrollo del proyecto se ha adoptado: T_{cd} = 30 segundos, T_{cn} = 5 segundos, I_{cn} = 81 mA, I_{cd} = 48.001 mA. Con los datos detallados anteriormente se tiene:

$$Consumo = \frac{5 * 81 + 30 * 48.001}{5 + 30} \quad (2)$$

$$Consumo = 52.71 \text{ mA.}$$

Se tiene disponible una batería de 3.7 V con 800 mAh, el cálculo de la vida de la batería sería determina con la ecuación 3:

$$Vida \text{ Bateria} = \frac{Capacidad \text{ Bateria}}{Consumo} \quad (3)$$

$$Vida \text{ Bateria} = \frac{800 \text{ mAh}}{52.71 \text{ mA}}$$

$$Vida \text{ Bateria} = 15.17 \text{ h}$$

Alimentación de un circuito con batería y un panel solar que recarga la batería.

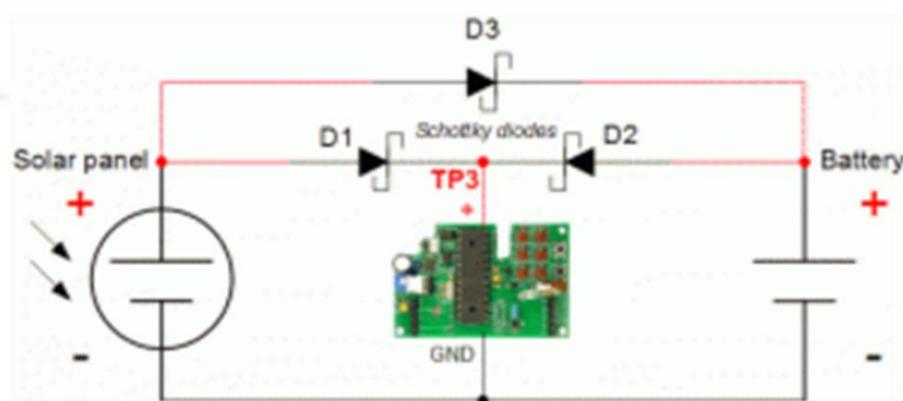


Figura 4. Circuito de alimentación a la batería con el panel solar con la ayuda de un conjunto de diodos Schottky.

Para recargar la batería con la ayuda de un panel solar se realizó un circuito conformado por 3 diodos Schottky de tipo 1N5817, además de un condensador que permite estabilizar la fuente de alimentación y rectificar la señal (Figura 4). El panel solar proporciona la energía al dispositivo por medio del D1, o la batería proporciona energía a través del D2, dependiendo del tipo de fuente de alimentación, tiene un voltaje más alto. Cuando el panel solar tiene la tensión más alta, flujos de energía solar pasan a través del D1 para hacer funcionar el dispositivo por medio del D3 y recargar la batería. En la Figura 5 se observa el circuito en real.

El objetivo del circuito es alimentar por medio de un panel solar tanto a la batería como a cada uno de los nodos sensores, cumpliendo así con 2 funciones al mismo tiempo sin dejar a lado la alimentación del nodo sensor.

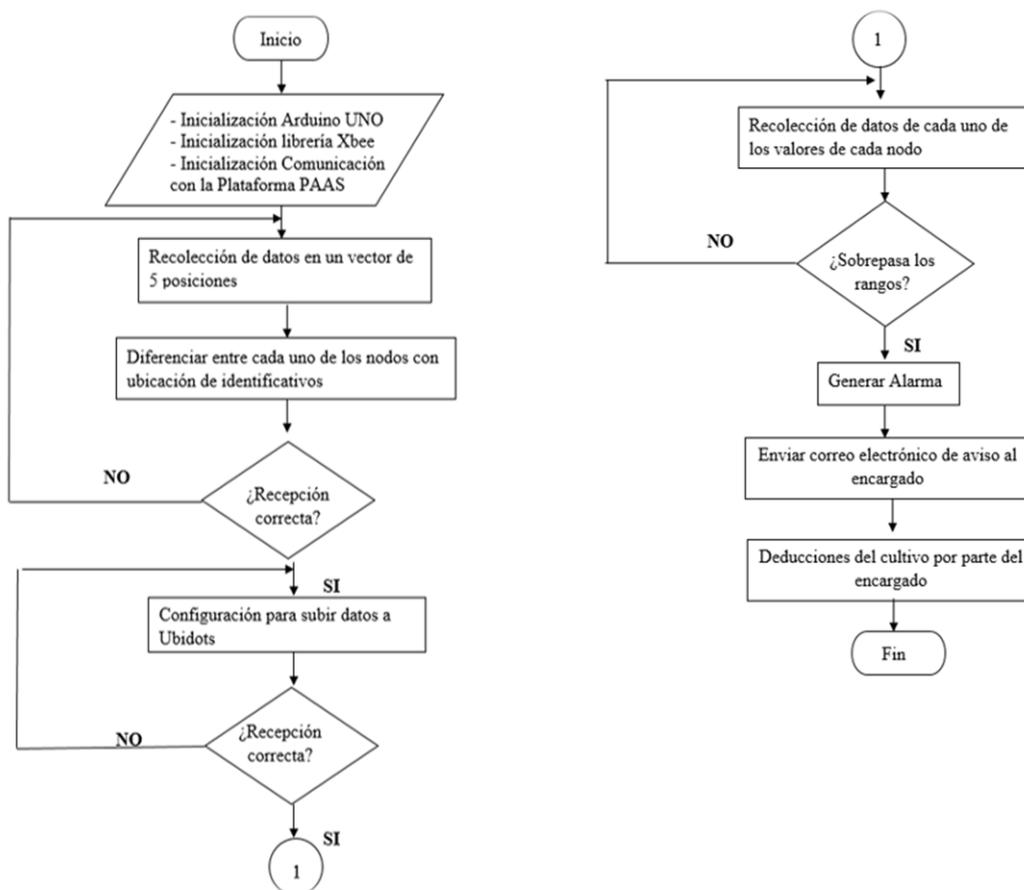


Figura 5. Diagramas de flujo del nodo central, describiendo todo el proceso para almacenar los datos y generar la alarma.

2.6. Diseño del software

La programación de las placas de Arduino utilizadas en el presente proyecto esta basado en el lenguaje C, siendo propietario del IDE de Arduino. La recolección de datos y envío hacia el nodo central se lo realiza por medio de los Arduino Mini-Pro, y el almacenamiento de los mismos en el nodo central con la ayuda del Arduino UNO, adaptándose a un Shield Ethernet para el despacho hacia internet y almacenamiento en la nube.

Visualización

Para realizar el monitoreo por parte de la o las personas encargadas del invernadero, Ubidots será la plataforma que usada para esta tarea. Como primer paso se debe crear una cuenta (Figura 6) ingresando a su página oficial <https://ubidots.com>.

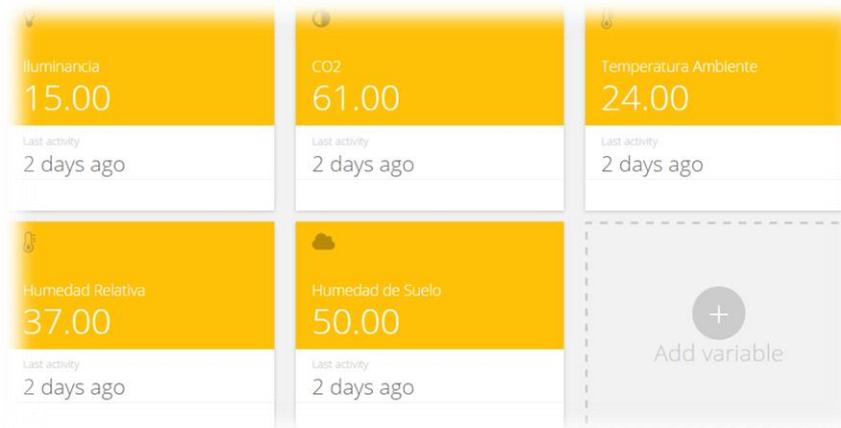


Figura 6. Captura de pantalla de la visualización de los datos de cada uno de los agentes monitoreados.

3. RESULTADOS

3.1. Pruebas en invernadero de Granja La Pradera

El invernadero que se encuentra en la granja La Pradera ubicada en la parroquia rural de Chaltura, tiene una extensión de 323 m² cultivado con tomate. Como se investigó en el fundamento teórico se debe cumplir con los valores óptimos del cultivo de hortalizas bajo un invernadero, siendo estos los siguientes:

- Humedad relativa: 55% a 70%
- Temperatura ambiente: 15°C a 25°C
- Cantidad de CO₂: 800 a 1,000 ppm
- Luminosidad: 10,000 a 40,000 lx
- Humedad de suelo: 0 a 30 seco, 31 a 70 húmedo, 71 a 100 agua.

Lectura del sensado

Los sensores correctamente calibrados recolectan los datos de cada parámetro a monitorear, los módulos Xbee permiten la comunicación con el nodo central, el cual se encarga de subir a la plataforma de ubidots y almacenar la información adquirida, la Figura 7 presenta los datos de las variables monitoreadas incluyendo fecha y hora.

Date	Value
2017-03-28 14:30:00 -05:00	24
2017-03-28 14:29:39 -05:00	24
2017-03-28 14:23:38 -05:00	25
2017-03-28 14:22:57 -05:00	25
2017-03-27 11:47:51 -05:00	22
2017-03-27 11:47:31 -05:00	22
2017-03-27 11:47:11 -05:00	22

Figura 7. Datos de la variable temperatura ambiente organizados de manera estructurada.

3.2. *Instalación de la red de sensores*

Los tres módulos sensores se ubicaron cada uno en partes estratégicas para lograr cubrir toda el área del terreno, los nodos han sido cubiertos por cases hechos en acrílico resistente, sobrepuestos en bases de madera que se encuentran 2 m sobre el suelo; como se observó en la simulación para lograr una mejor recepción de datos y evitar tener contacto directo con el suelo. Además que cada planta de tomate llegó a la altura de 1.70 m. Por lo tanto, esta altura es apropiada para recolectar los datos.

- Ubicación Nodo Sensor 1: En la Figura 8 se observa una recopilación de distintas posiciones del case que protege a los elementos del nodo 1, además de la alimentación que se trata de una batería de litio y de su respectivo panel solar para cargarlo cuando se acabe el tiempo de duración; incluyendo la imagen de la base madera que sostiene al nodo sensor.



Figura 8. Instalación Nodo sensor 1, ubicado en la plantación de tomate en la ubicación correcta y la instalación del nodo central ubicado en la residencia de los estudiantes.

Los demás nodos sensores se instalaron de manera similar al nodo sensor 1, en sus ubicaciones destinadas.

- El módulo central se ubicó en la residencia de los estudiantes donde se encuentra el cuarto de telecomunicaciones, con un case de protección donde tendrá orificios para la entrada de adaptador de alimentación y del cable Ethernet a conectar al router inalámbrico que provee el internet a la granja.

El módulo se encuentra muy cerca al rack donde está el router que provee el internet a la granja. El computador del administrador le permite observar el monitoreo de los datos recolectados de los nodos sensores que se guarda en la nube por medio de la plataforma de Ubidots.

3.3. *Pruebas previas a la instalación del riego por goteo en ambientes diferentes*

Para evaluar el objetivo de lograr optimizar el recurso del riego en un cultivo de hortalizas, se realizaron pruebas previas a la instalación del proyecto en distintos ambientes para lograr obtener diferentes comportamientos de las plantas y determinar conclusiones al respecto.

Aplicación de agua con ayuda de riego con manguera

La primera prueba de distribución de riego se dio con la utilización de una manguera que por 5 min se lograba una base de 4 L en la cantidad de plantas ubicadas en un surco. Logrando de manera visual alcanzar que el cultivo reciba la humedad adecuada.

La ubicación del primer surco donde se suministró agua con la ayuda de una manguera, era muy accesible a la luz solar, la temperatura llegó a 30°C a las 10 am. Al no ser la temperatura adecuada, el cultivo no formó el repollo, tomando un aspecto alejado de su forma normal, como se observa en la Figura 9.



Figura 9. Deformación de la forma de la planta de repollo cuando ha sido sometido a una alta temperatura fuera de su rango vital.

- En el primer surco la distribución de agua se realizó con la ayuda de una manguera, y en horarios de 10 am, 4 y 7 pm del día, logrando así obtener distintos tipos de datos al respecto de cada uno de los agentes monitoreados. Con respecto a la temperatura se obtuvo en el primer horario rangos de hasta 30°C, teniendo como humedad relativa el 24%, la luz se encontraba en 18000 lx, CO₂ en 200 ppm y la humedad de suelo estaba dentro del porcentaje óptimo.

Con el pasar de la tarde se observaba que la temperatura, luz, CO₂ disminuían los rangos y la humedad relativa subía; en consecuencia la humedad del suelo era cada vez mayor. La humedad perdida por la luz solar se recuperaba en la noche con los cambios de los demás parámetros.

Negación de agua

La segunda dosis de aplicación de agua al cultivo fue de negar del líquido vital por 7 días para observar el comportamiento. Las plantas dejaron de desarrollar follaje cayendo en el denominado estrés hídrico. Como consecuencias se tiene que la raíz se seca, las hojas pierden el color natural, como se puede observar en la Figura 10.



Figura 10. Consecuencias de falta de agua en el cultivo de lechuga después de 7 días sin riego de agua.

- En el surco que no se dio agua por 7 días, tenía como caso particular que la cantidad de luz era muy poca, ya que se encontraba en un lugar difícil de llegar; logrando soportar este periodo sin agua, manteniéndose dentro del rango de humedad óptimo del suelo, la temperatura se mantenía entre los 22°C durante todo el día y por la noche disminuía, la humedad relativa era muy alta y la cantidad de CO₂ similar a los demás surcos.

Aplicación de agua con sistema de riego por goteo

Con la activación manual del sistema de riego por goteo, se realizó de igual manera que el método visual, se determinó que se consumió 3 L por 15 min. Se redujo un litro al consumo en relación al uso de la manguera. Con este método de aplicación se logró mejorar la producción del cultivo, pero no de la manera esperada, ya que el tiempo de espera de crecimiento fue muy lento y de menor tamaño (Figura 11).



Figura 11. Uso del riego por goteo en una plantación de lechuga con el suministro adecuado de agua.

- El surco fue distribuido por goteo, la temperatura fue de 26°C al encontrarse en el horario de las 10 am, pero la cantidad de luz que lograba captar era mucho menor que con el riego por manguera, llegando a 3,000 lx, mientras que la humedad relativa era mucho mayor llegando a 30%, la cantidad de CO₂ alcanzó los 600 ppm y la humedad de suelo era similar al primer surco.

Por la noche se capturó datos y la temperatura llegó a 19°C, teniendo una cantidad de luz totalmente nula, una humedad relativa de 55% y en consecuencia la humedad de suelo era similar al momento de aplicar el riego.

Aplicación de agua con la investigación propuesta

El método fue aplicado a todo el proyecto de control y monitoreo en el cultivo de lechuga para posteriormente hacerlo en el invernadero de tomates usando la red WSN.

Se comprobó el uso del agua aplicando al cultivo de lechuga los 3 L por 15 min para lograr que el suelo se encuentre húmedo. De igual manera en el caso del sistema automático no se activa debido a que se registra una excesiva humedad impidiendo que la electroválvula comience a funcionar. El sistema se activará cuando la cantidad de humedad sobrepase su rango óptimo para el cultivo con las alertas previas.

En la Figura 12, se observa como, con el adecuado suministro de agua, sin haber desperdiciado, la planta tiene un follaje normal y el repollo se desarrolla normalmente; con un color verdoso brillante.



Figura 12. Cultivo de lechuga con la aplicación de agua con la investigación propuesta.

En la Granja La Pradera se realizó las pruebas con el cultivo de tomate y se observó que su comportamiento fue como en los otros cultivos previamente realizados. La aplicación del agua se realizó por una hora hasta lograr que los 20 cm de la zona de raíces se encuentren húmedos, con un total de 30 L.

El sistema permite cumplir con la optimización del recurso del agua, economizando su utilización y mejorando la producción, obteniendo frutos de calidad con peso óptimo y sus flores cumplen con las características descritas en el fundamento.



Figura 13. Frutos del cultivo de tomate.

4. CONCLUSIONES

Para conocer cuáles deberían ser los principales parámetros a ser sensados en un cultivo de hortalizas dentro de un invernadero, se realizó una investigación de los principales agentes involucrados en el crecimiento de una planta. Esto permitió entender que dichos agentes tienen repercusiones de vital importancia en su evolución como ser vivo, y la estrecha relación que existe entre un agente y otro.

El invernadero ubicado en la parroquia de Chaltura tiene un área de extensión de 323 m², la comunicación entre los nodos sensores se realiza por medio de los módulos Xbee de serie 2, con su nueva versión tipo c, teóricamente alcanzan rangos hasta 1,200 m en un área libre de obstrucciones como en éste caso.

La comunicación entre los nodos sensores y el nodo central fue muy eficiente con las pruebas que se realizó del alcance de cada uno. Debido a la cercanía entre los nodos y a la topografía sin obstáculos que impidan su línea de vista, se logra cubrir todo el espacio de interés del invernadero.

La red de sensores está desarrollada con el fin de monitorear los agentes previamente identificados, para obtener un registro de datos. De esta forma, el agricultor o encargado del invernadero podría a futuro tomar decisiones para mejorar la producción con usando la información recolectada.

El diseño de una red de sensores es una de las tecnologías que destaca su uso en la agricultura de precisión, considerando que, para implementar soluciones de monitoreo en distintas zonas de cultivo, no requieran infraestructura especial al estar formadas principalmente de nodos inalámbricos y con fuentes autónomas de energía.

Ubidots, como plataforma web, ha sido de gran utilidad en la presente investigación, porque permite almacenar e interpretar datos, gracias a esta herramienta el tiempo y el dinero se ahorra considerablemente.

Con respecto al sistema de control, se observó que el cultivo puede sobrevivir alrededor de 7 días sin riego en un ambiente con variables distintas a las que debe cumplir para su desarrollo, pero como resultado causó daños en la calidad del producto.

Como resultado importante de esta investigación, se aprecia que el riego por goteo ha permitido el ahorro de un 30% de agua, se utiliza alrededor de 30 L en cada riego. Esta es una de sus principales ventajas para su implementación, favoreciendo así a disminuir el impacto del calentamiento global de manera local a través de la optimización de recursos.

Después de realizar un levantamiento de toda la información involucrada en el desarrollo del proyecto, investigar el funcionamiento de todos los dispositivos integrados en el sistema y realizar las pruebas de campo del prototipo desarrollado, se logró capturar datos de los parámetros ambientales como: humedad de suelo, humedad relativa, temperatura ambiente, luminosidad y CO₂. En el proceso de recolección de información se puede destacar el buen desempeño de la red con respecto al consumo de energía que poseen los paneles solares.

La agricultura de precisión está teniendo en la actualidad impacto en la producción agrícola alrededor del mundo. Es importante considerar que los principios de este concepto son los mismos para todos los cultivos, pero la implementación es particular para cada tipo de cultivo y localización geográfica.

AGRADECIMIENTOS

Se expresa un especial reconocimiento a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) de la Universidad Técnica del Norte, y a sus autoridades; por la apertura brindada para desarrollar este proyecto en sus instalaciones.

REFERENCIAS

- Iglesias, N. (2009). *http://inta.gob.ar/*. Obtenido de http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_produccion-de-hortalizas-bajo-cubierta_2006.pdf
- Integrantes del Grupo de Investigación EDMANS. (2009). *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. Logroño: Universidad de la Rioja.
- Lorenzo, P. (2012). *publicacionescajamar*. Obtenido de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-536.pdf>