

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN



EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA

Magister en Redes de Comunicaciones por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Diplomado Superior en Investigación por la Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Profesor Tiempo Completo por contrato en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, desde 2007.



GUSTAVO XAVIER CHAFRA ALTAMIRANO

Doctor en Telecomunicación especialización en Telemática por la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Ingeniero en Sistemas y Computación por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Investigador y Profesor Principal de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, desde 2003.

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

(Entregado 19/05/2014 – Revisado 06/06/2014)

Universidad Técnica de Norte
Universidad Católica del Ecuador
eamaya@utn.edu.ec
gxchafra@puce.edu.ec

Resumen

En el sector agrícola de la ciudad de Ibarra se ha observado una escasez de agua de riego para la producción, debido a los cambios climáticos que en la actualidad se presentan. Es por tal razón, que el proyecto tiene como objetivo implementar un sistema tecnológico de optimización del uso de agua para mejorar el rendimiento de los cultivos. El sistema es una red inalámbrica de sensores que trabaja con el estándar 6LoWPAN, permitiendo monitorear las variables aplicadas a la agricultura de precisión como: humedad relativa, temperatura, humedad de suelo, luz y lluvia. Esta red envía las mediciones recolectadas a una aplicación llamada estación-servidor para ser almacenadas en una base de datos; posteriormente serán visualizados en forma gráfica la medición actual o el historial de los cultivos por medio de una página web adaptiva a cualquier terminal como: Pc, Tablet o teléfono inteligente. Además, dependiendo de los parámetros de las mediciones, permite activar o desactivar en forma automática los dispositivos de un riego por goteo como: motobomba y electroválvulas para reponer agua al suelo donde necesitan los cultivos.

Palabras Claves: WSN, 6LoWPAN, IPv6, sensores, agricultura, 802.15.4.

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Abstract

The agricultural sector of the city of Ibarra has seen shortages of water for agricultural irrigation, due to the climatic changes of these times. For this reason, the project has the goal of implementing a technological system for the optimization of water usage in irrigation to improve crop yields. The system is a wireless network of sensors based on standard 6LoWPAN, allowing monitoring of variables relevant to precision agriculture such as: relative humidity, temperature, ground moisture, sunlight and rain. This network sends the measurements collected to an application called server-station to be stored in a database. That data will be post processed to be visualized through a graphic interface, current measurements or historical parameters, through a webpage compatible with any terminal platform: PC, tablet or smart phone. Furthermore, depending on the measured parameters, it allows automatic activation or deactivation of drip irrigation devices such as: motorized pumps and solenoid valves to irrigate crops, only where it is needed.

Keywords: : WSN, 6LoWPAN, IPv6, sensors, agriculture, 802.15.4.

1. Introducción

El cambio climático se siente en el Ecuador y por consecuencia la sequía es más frecuente en zonas de la Sierra y por estos desfases del clima los agricultores no saben a ciencia cierta cuándo sembrar (Diario La Hora, 2013). Imbabura estuvo a punto de ser declarada en emergencia agrícola, se registraron 8 mil 620 hectáreas devastadas por la sequía. Económicamente el valor de las pérdidas llegó a 4 millones 116 mil dólares (Diario La Hora, 2010). Además, el clima en el Cantón Ibarra tiene una variación de la precipitación, se presentan épocas de sequía entre los meses de junio y septiembre, con dos épocas de sequía adicionales en los meses de abril y noviembre (Gobierno Autónomo Descentralizado de San Miguel de Ibarra, 2013)

Por las razones expuestas, el proyecto presenta una solución a este tipo de problema para obtener con mayor eficacia el aprovechamiento del uso de agua con la ayuda de la tecnología aplicada a la agricultura de precisión. Ésta emplea la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto (Ecuared, 2013). Por esto se obtendrá una agricultura de calidad y se evitará pérdidas de los cultivos ocasionadas por las sequías, produciendo más alimentos con menos agua, preservando el medio ambiente y aumentando la economía del sector agrícola.

El objetivo principal del proyecto es analizar, diseñar, desarrollar e implementar una red inalámbrica de sensores aplicada a la agricultura de precisión, utilizando el estándar 6LoWPAN, para optimizar el uso del agua de riego en el sector de la ciudad de Ibarra. Esta red permite la medición, transmisión, procesamiento y registros de los datos de las variables como: temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, luminosidad y lluvia, ofreciendo al agricultor información en tiempo real de los cultivos. Dicha información puede ser visualizada en cualquier terminal sea: PC, Tablet o dispositivo móvil inteligente. Además, dependiendo de los parámetros de las mediciones puede realizar la gestión automática de un riego por goteo (Gurovich, 2000) reponiendo agua al suelo donde necesitan los cultivos de forma más eficiente y abriendo la posibilidad de realizar una producción durante la época de verano y de escasez de agua, evitando pérdidas económicas al sector agrario e incrementando la disponi-

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

bilidad de alimentos a la sociedad a precios más bajos por la mayor eficiencia en las labores.

Para la obtención de resultados se realizaron pruebas como: aplicar la técnica de riego por inundación, con el método visual hasta lograr que de manera aparente el cultivo reciba la humedad adecuada; aplicar el mismo método pero con una determinada cantidad de agua; aplicar mediante la activación manual del sistema de riego por goteo; y aplicar mediante el sistema tecnológico propuesto solo la cantidad necesaria dependiendo de los datos recolectados por los sensores. Luego de realizar las pruebas mencionadas se verificó que el sistema permite cumplir con la optimización del agua de riego destinado a los cultivos, brindando una mejora en la producción. El consumo de agua de riego con este tipo de propuesta es menor que en los tradicionales sistemas de riego, evidenciando un eficiente ahorro de aproximadamente del 70 %; esto es importante cuando el factor limitante para la agricultura es el agua.

2. Materiales y métodos

Para la investigación e implementación del sistema propuesto se aplica el muestreo no probabilístico de tipo discrecional; permitiendo al investigador a juicio personal y de disponibilidad elegir el área o extensión de terreno a ser implementado (Francis José Mas Ruiz, 2012). Para lo cual, se toma como muestra dos parcelas de terreno de la Hacienda Cananvalle de la ciudad de Ibarra; una de 180 m² y otra de 200 m², con ellos se podrá realizar el análisis, diseño, desarrollo, implementación y pruebas. En la investigación se aplica el método deductivo, el cual permite buscar la solución a los agricultores que le permitan controlar y monitorear el manejo del riego por goteo basada en una red inalámbrica de sensores a través del estándar 6LoWPAN, para reponer de agua al suelo donde realmente necesitan los cultivos en épocas de verano, inviernos irregulares y escasez de agua, con ello permitirá obtener una diversificación y optimización de la producción agrícola. Los dos tipos de recolección de información secundarios son la revisión bibliográfica y las búsquedas electrónicas. Las búsquedas bibliográficas ofrecen los antecedentes, aclaración de ideas, precisar conceptos y, las búsquedas electrónicas en fuentes como expertos de la industria, autores independientes de artículos de revistas y periódicos en las que contengan información actualizada que sean aplicadas al estudio (Joseph F. Hair, Robert P. Bush y David J. Ortinau, 2010).

Para el diseño de la red inalámbrica se considera los siguientes elementos de hardware: sistema embebido MSP-CM5000 con características similares a TelosB (Jose Javier de las Heras, 2014) encargado de la recepción de los datos de los sensores, procesamiento, envió y qué soporta el estándar 6LoWPAN. Cuenta con sensores internos como: sensor de temperatura y humedad relativa que permite el control automático del sistema de riego en intervalos adecuados evitando daños en la planta, se utiliza el sensor digital Sensirion SHT11 de alta precisión (Sensirion, 2014); y sensores de luminosidad que permite monitorear el porcentaje de radiación solar total y radiación fotosintéticamente activa, determinando cuándo regar por la influencia del sol ya que puede llegar a quemar la planta por el reflejo, para esta actividad se utiliza los sensores Hamamatsu S1087 y S1087-01 (Hamamatsu, 2014). Para los sensores externos se integra el sistema embebido Arduino Uno (Arduino, 2014) y se programan los driver necesarios para la lectura de los sensores de humedad de suelo y de lluvia. El sensor de humedad de suelo YL-69 analógico (Armztec, 2014) sirve para el control automático

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

del sistema de riego por goteo, siendo uno de los parámetros principales del monitoreo. El sensor de lluvia analógico Module Rain Detection LY-83 (Amazon, 2013) por estar implementado el sistema en la exterior se puede determinar la percepción de lluvia y evitar pérdida innecesaria de agua de riego, por lo tanto nos ayuda a desactivar el sistema.



Figura 1. Elementos de hardware de la inalámbrica propuesta.

Para la red inalámbrica se sensores se plantea una topología tipo malla (Cianca, 2012), dado que 6LoWPAN proporciona protocolos de enrutamiento IP como RLP (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) (Zach Shelby, 2009), en donde cada nodo cliente envía la información del estado de los sensores al nodo servidor para el procesamiento de los datos, además pueden retransmitir mensajes a sus vecinos y utilizar enlaces más eficientes hasta llegar al servidor destino. Esta topología permite la reparación automática de sus enlaces debido una falla de algún nodo cliente, de que exista interferencia o se incorporen nuevos nodos a la topología, en consecuencia permite usar múltiples vías disponibles para llegar a su destino permitiendo ser una red inalámbrica escalable, robusta y fiable (Gustavo Mercado, Matías Aguirre y Ana Diedrichs, 2011).

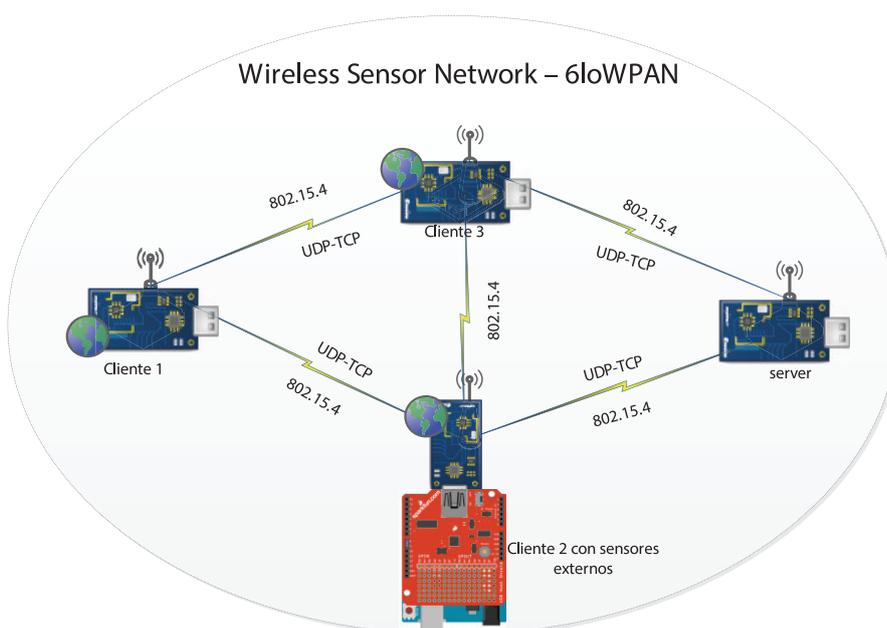


Figura 2. Topología en malla de la red inalámbrica propuesta.

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Para el diseño de la arquitectura, la recolección de los datos de los sensores de los nodos clientes se realiza en formato de trama: cliente {nodoId, IPv6, temp, humedadRelativa, humedadSuelo, Lux1, Lux2, estadoLluvia, estado Bateria}, luego serán transportados por los radios 802.15.4 y el protocolo UDP (User Datagram Protocol) al nodo servidor, y a la aplicación Estación-Servidor, que se encarga del tratamiento de la trama; dependiendo de los parámetros de los sensores permite la activar o desactivar el riego por goteo en forma automática. Cada nodo cliente y servidor dispone de una dirección IPv6 (Martínez, 2012), puesto que la tendencia es el Internet de las Cosas (Pittman, 2013) en donde cada nodo puede ser identificado y gestionado directamente en Internet (Felipe Lamus, 2014). La seguridad de los datos en los nodos clientes al ser enviados por los radios 802.15.4 (802.15.4a-2007, 2007) se utiliza una encriptación simétrica XOR (Juan David Rey Conrado, 2013), se elige este tipo ya que los datos no son confidenciales y por disminuir el procesamiento de los microcontroladores permitiendo ahorrar el consumo de las baterías, el nodo servidor los descifra con una llave única que posteriormente serán almacenados en una base de datos.

Para la programación de los nodos clientes y servidor se utiliza el sistema operativo de red en tiempo real Contiki OS (Adam Dunkels, 2014). Está basado en código abierto y se adapta a microcontroladores con limitada capacidad de memoria, con soporte para: IPv6, protocolo RPL y el estándar 6LoWPAN.

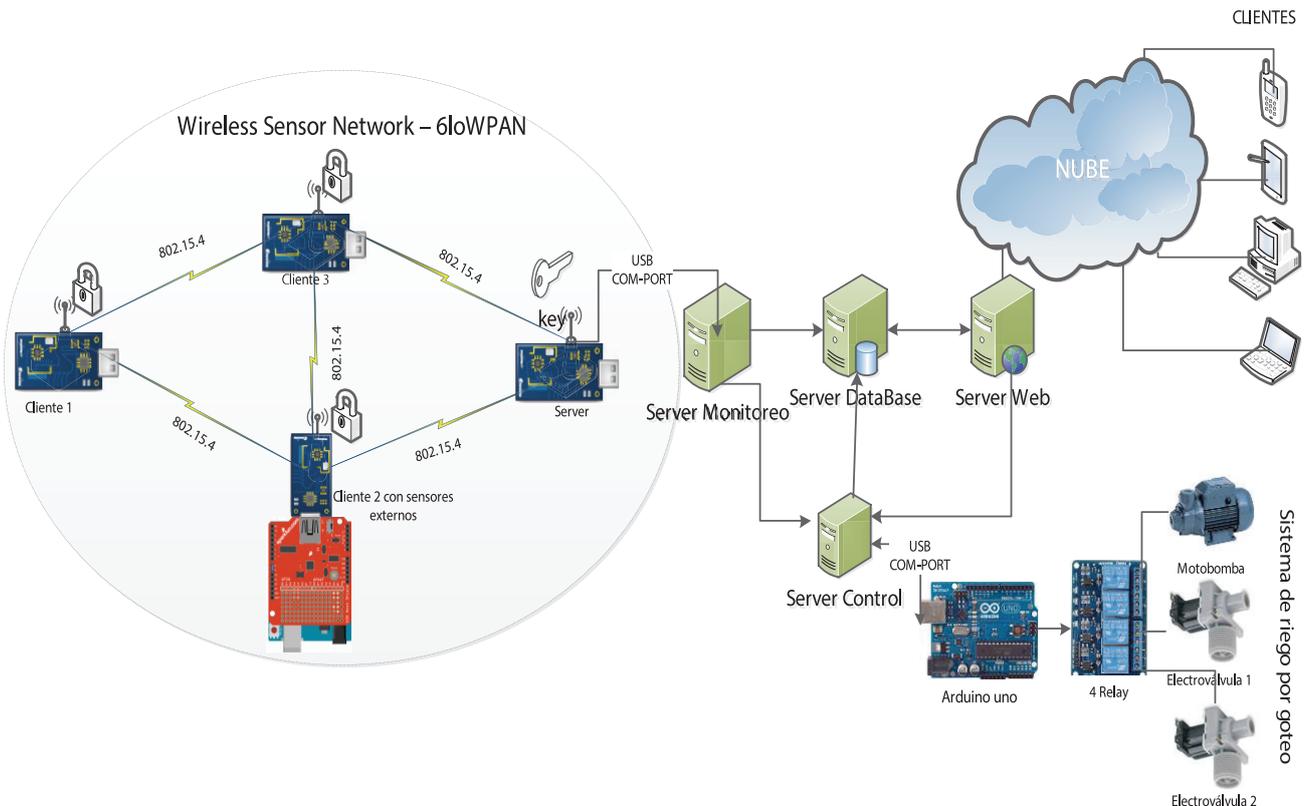


Figura 3. Arquitectura de funcionamiento del sistema propuesto

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Para el desarrollo de la aplicación se emplean los estándares ISO/IEC/IEEE 29148-2011 que especifica los requerimientos del software y el ISO/IEC/IEEE 42010-2011 que define la arquitectura, logrando implementar dos aplicaciones: la primera una Estación-Servidor que permite el almacenamiento en una base de datos la adquisición de las mediciones actuales de los sensores de la red inalámbrica 6LoWPAN y dependiendo del estado de estos puede activar o desactivar el sistema de riego por goteo en forma automática; la segunda un sitio web adaptable a cualquier dispositivo como PC, laptop, Tablet o teléfono inteligente, presentando una interfaz gráfica al agricultor la información en tiempo real el monitoreo y control de los dispositivos del riego. La interfaz del monitoreo puede ver el estado actual de sensores o el historial de éstos que son extraídos de la base de datos. La interfaz de monitoreo de los dispositivos del riego por goteo permite visualizar el estado actual si están activos o no.



Figura 4. Interfaz de presentación de monitoreo de los sensores.

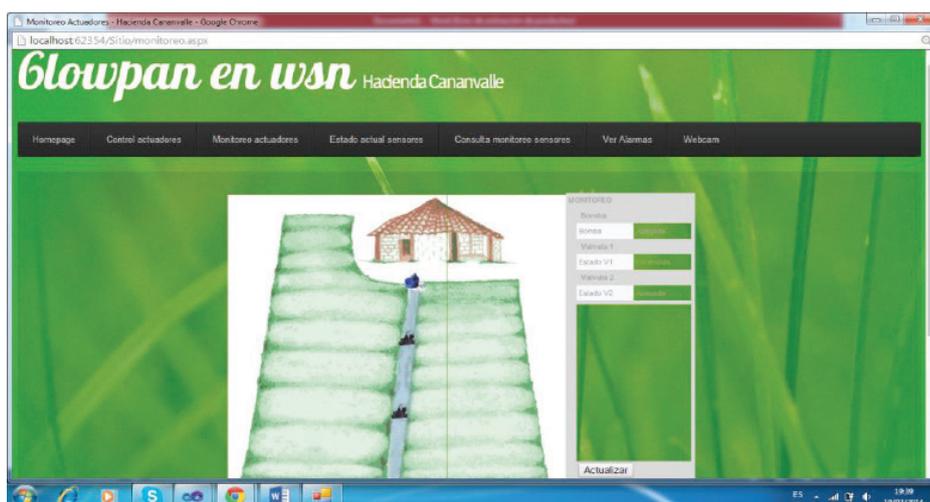


Figura 5. Interfaz de monitoreo de dispositivos de riego por goteo.

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

3. Resultados y discusión

Para evaluar el cumplimiento del objetivo principal que fue de optimizar el uso de agua en los cultivos las condiciones serán con suelo seco y realizando las siguientes pruebas:

La primera prueba de riego se la realizó utilizando la técnica por inundación en una determinada zona y empleando el método visual hasta lograr de manera aparente que el cultivo recibiera la humedad adecuada. Con éste método de aplicación las plantas tuvieron una producción excesiva de follaje, no floración; consumiendo un total de 100 litros.

La segunda prueba de riego se aplicó una determinada cantidad de agua en el cultivo, simulando problemas de sequías por la escasez de agua y restringiendo la cantidad adecuada de suministro en los cultivos. Se consumió un total de 20 litros y este déficit hídrico prolongado cayó en el denominado estrés hídrico (una-Flores, W.; Estrada-Medina, H.; Jiménez-Osornio, J. J. M.; Pinzón-López, L. L, 2012) que se produce por la falta de agua para sobrevivir los cultivos y por consecuencia pérdidas en la producción. Al estar en estas condiciones los principales efectos se producen en: la reducción en la altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (una-Flores, W.; Estrada-Medina, H.; Jiménez-Osornio, J. J. M.; Pinzón-López, L. L, 2012).

La tercera prueba se realizó con la activación manual del sistema de riego por goteo instalado, se utilizó de igual manera el método visual para determinar cuántos litros se consumían. En el ingreso de agua del sistema de riego se colocó un estanque de 10 litros y se consumieron 5 de estas en la prueba, en un tiempo de una hora. El consumo se redujo ya que se consumieron 40 litros menos que con la primera forma de aplicación. Con esta manera de aplicación se logró que el cultivo mejore pero no de la manera esperada ya que produce fructificación tardía, producción reducida y proliferación de insectos en la zona de la raíz.

Y la cuarta forma de la aplicación de agua fue con el sistema tecnológico propuesto. Para comprobar que existe una optimización del consumo de agua se dejó el suelo en las mismas condiciones de las anteriores pruebas. Este proceso da un excelente resultado consumiendo un total de 30 litros porque los sensores que están colocados en los cultivos determinan en forma automática cuando regar por los parámetros registrados, logrando reponer agua al suelo y que será absorbido por los cultivos sin desperdicio y con la cantidad adecuada. Por encontrarse implementado en el exterior, un sensor de lluvia se desactiva por precipitaciones. Por tal razón, los cultivos con un adecuado suministro de agua tienen un follaje normal no abundante, con aspecto verdoso brillante y una excelente producción (Edgar Maya, Jhomaira Burbano Garcia, 2014). El sistema permite cumplir con la optimización del agua destinada al cultivo, brinda la posibilidad de economizar el agua de riego en un 70% y ayuda a mejorar la producción del cultivo.

4. Conclusiones

- Una vez implementado el proyecto, permite al agricultor controlar y monitorear el sistema de riego por goteo por medio de la red inalámbrica de sensores bajo 6LoWPAN y reponer el agua al suelo en la zona donde realmente necesita, así optimizando el agua que está recolectada en el reservorio, ya que la falta de agua de riego que es evidente con los turnos asignados en sector. El control y el monitoreo lo puede realizar local o remota por cualquier

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

dispositivo ya sea PC, Tablet o móvil, ya que la aplicación está basado en la tecnología Web y una plantilla adaptivas; con las interfaces gráficas la gestión y administración es rápida y fácil para el agricultor, porque puede observar la imagen virtual del terreno y la posición de los dispositivos de riego por goteo que se encuentran instalados.

- El consumo de agua de riego con este tipo de propuesta es menor que en los tradicionales sistemas de riego por surcos o inundación, evidenciando un eficiente ahorro del 70%, esto es importante cuando el factor limitante para la agricultura es el agua.
- Una limitante para el pequeño sector agrícola, son los escasos recursos económicos para acceder a este tipo de sistemas, debido a que la tecnología requerida es muy alta y porque inicialmente se requiere de una inversión importante para la instalación del sistema de riego por goteo, en la implementación de la red inalámbrica de sensores y en el software de control y monitoreo; en un principio es un gasto muy elevado. La adquisición de un computador o de un dispositivo móvil, también tiene su costo, pero se considera que la inversión de hoy es un beneficio para el mañana.
- A pesar de las limitantes económicas se considerar que la implantación del proyecto proporciona algunos beneficios al agricultor como: opción de optimización del uso del agua de riego en forma eficiente; el terreno implantado con este tipo de sistemas aumenta su plusvalía; la disponibilidad absoluta y libertad de manejar el riego, sin depender del lugar donde se encuentre.
- El uso de hardware libre en el país se está masificando, debido a que mediante estos dispositivos y en particular las placas CM5000 permite la construcción de varios proyectos de manera más rápida con la utilización de Sistemas Operativos de tiempo real como lo es Contiki OS, que facilita la implementación de uIPv6 y administra el buen uso de los recursos del sistema embebido, por su poca capacidad de memoria y procesamiento.
- La red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN se puede implementar a cualquier tipo de cultivo y dimensiones, porque permite la escalabilidad e integración de más módulos y sensores a la red, sin dejar a un lado el costo que este implica; con ello facilita la labor de control y monitoreo, además da la posibilidad al agricultor estar informado en todo momento de lo que sucede en terreno, para poder actuar directamente sobre los dispositivos de riego.
- 6LoWPAN permite la comunicación con el protocolo IPv6 a través de redes de baja potencia como es 802.15.4, integrando una capa de adaptación al modelo TCP/IP y así permitir la fragmentación, compresión de la cabecera sobre estas redes. Los protocolos para transportar la información puede ser UDP y TCP, siendo UDP el más utilizado porque no requiere que los datos sean retransmitidos, hace su máximo esfuerzo y consume menos recursos de los sistemas embebidos, logrando transmitir los datos de los sensores a una estación central para su tratamiento.

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

5. Referencias bibliográficas

- 802.15.4a-2007, I. (2007). *IEEE Standard for PART 15.4: Wireless MAC and PHY Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs): Amendment 1: Add Alternate PHY*.
- Adam Dunkels. (2014). *Contiki: The Open Source OS for the Internet of Things*. Obtenido de <http://www.contiki-os.org/>
- www.agriculturadeprecision.org. (2013). *Agricultura de precision*. Obtenido de <http://www.agriculturadeprecision.org/>
- Alejandro Cama, Emiro De la Hoz, Dora Cama. (2012). *Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas*. La plata: Revista INGE CUC.
- Amazon. (2013). *Rain Detector Module and Sensor Board Kit for Easy Arduino Interface DIY*. Obtenido de <http://www.amazon.com/Detector-Module-Sensor-Arduino-Interface/dp/B00EEWCSRI>
- Antonio Ruiz, José Molina. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Murcia: Marcombo.
- Ara, L. M. (2012). *Neighbor Discovery Proxy-Gateway for 6LoWPAN-based Wireless Sensor Networks*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Arduino. (2014). *Arduino Uno*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/arduino-BoardUno>
- Armztec. (2014). *Sensor de Humedad de Suelo YL-69*. Obtenido de <http://www.armztec.com/2013/11/humedad-tierra.html>
- Barros, T. (2012). *IPv6 en las LLNs*. Obtenido de <http://www.ipv6.cl/tendencias/caso-de-estudio-enero-2012>
- Caprile, S. (2009). *Equisbí: Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos zigbee y 802.15.4*. Buenos Aires: GAE.
- Carlos Lago González; Juan Carlos Sepúlveda Peña; Rogelio Barroso Abreu; Félix Óscar Fernández Peña; Francisco Maciá Pérez; Javier Lorenzo. (2011). *Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión*. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292011000100009&script=sci_arttext#aut5
- Chile, W. (2012). *Wireless Sensor Network*. Obtenido de <http://www.wsunchile.cl/>
- Cianca, K. (2012). *Topologías de las redes con sensores*. Obtenido de http://lasredesconsensores.blogspot.com/2012_07_01_archive.html
- Comillas, U. P. (2012). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DOMÓTICO BASADO EN 6LOWPAN*. Obtenido de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/503e2c-74dc2c2.pdf>
- Dave, E. (2011). *The Internet of Things*. Obtenido de http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- Diario La Hora. (2010). *La sequía marcó al 2009*. Ibarra: Diario La Hora.
- Diario La Hora. (2013). *El cambio climático se siente en Ecuador*. Quito: Diario La Hora.
- Diedrichs, A. (2013). *IPv6 for Wireless Sensor Network*. Mendoza: FRM UTN.
- Ecuador, A. N. (2008). *Constitución del Ecuador 2008*. Obtenido de <http://docs.ecuador.justia.com/nacionales/leyes/ley-organica-de-soberania-alimentaria.pdf>

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

- Ecuared. (2013). *Agricultura de Precisión*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Agricultura_de_Precisi%C3%B3n
- Edgar Maya, Jhomaira Burbano Garcia. (2014). *RED WSN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO DE UNA PLANTACIÓN DE FRESAS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA – UTN*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Felipe Lamus. (2014). *La nube de nubes de Cisco en “el internet de las cosas”*. Obtenido de <http://globalnewsroom.cisco.com/es/la/press-releases/cisco-y-sus-partners-construiran-la-intercloud-glo-nasdaq-csco-1100399>
- Francis José Mas Ruiz. (2012). *Temas de investigación comercial*. Alicante: Club Universitario.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de San Miguel de Ibarra. (2013). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN IBARRA*. Ibarra: Municipio de Ibarra.
- Gurovich, L. (2000). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego por goteo*. San José: Levantex.
- Gustavo Mercado, Matías Aguirre y Ana Diedrichs. (2011). *Wireless Embedded Internet - 6LoWPAN*. Obtenido de http://www.sase.com.ar/2011/files/2011/02/59-Wireless_Embedded_Internet_6LowPan.pdf
- Hamamatsu. (2014). *Ceramic package photodiode with low dark current*. Obtenido de <http://www.hamamatsu.com/eu/en/product/category/3100/4001/4103/S1087-01/index.html>
- Hernández, J. V. (2010). *Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos*. Obtenido de <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8417/tesisUPV3326.pdf>
- John Rullan, Stephen Lynch. (2013). *Asignación de direcciones IPv6*. Chicago: CISCO.
- Jose Javier de las Heras. (2014). *CM5000*. Obtenido de MTM-CM5000-MSP: <http://www.advanticsys.com/shop/mtmcm5000msp-p-14.html>
- Joseph F. Hair, Robert P. Bush y David J. Ortinou. (2010). *Investigación de mercados. En un ambiente de información digital*. México, D.F: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
- Juan David Rey Conrado. (2013). *Criptografía desde Roma hasta Fotones Polarizados*. Obtenido de http://opticacuantica.uniandes.edu.co/pdf/criptoc_2013.pdf
- Martínez, J. P. (2012). *IPv6 Aspectos legales del nuevo protocolo de Internet*. Southampton: Euro6IX.
- Ministerio del Ambiente. (17 de 05 de 2012). *RECURSOS HÍDRICOS SE VEN AFECTADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Obtenido de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/17-05-2012_1.docx_.pdf
- Minoli, D. (2012). *Mobile video with Mobile IPV6*. New Jersey: Jhon Wiley.
- Pittman, E. (2013). *¿Por qué la Internet de las Cosas necesita IPv6?* Obtenido de <http://www.govtech.com/policy-management/Why-the-Internet-of-Things-Needs-IPv6.html>
- Ravera, G. (2010). *ZigBee o 6lowPAN*. Obtenido de <http://blogs.salleurl.edu/networking-and-internet-technologies/zigbee-o-6lowpan/>

RED INALÁMBRICA DE SENSORES A TRAVÉS DE 6LoWPAN PARA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

- Ruiz, M. (2000). *Riego por goteo en cítricos*. Madrid: Artes gráficas Cuestas, S.A.
- Secretaria Nacional del Agua. (2012). *Vision Secretaria Nacional del Agua*. Obtenido de www.agua.gob.ec
- Senplades. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir*. Obtenido de <http://plan.senplades.gob.ec>
- Sensirion. (2014). *SHT11 - Digital Humidity Sensor (RH&T)*. Obtenido de <http://www.sensirion.com/en/products/humidity-temperature/humidity-sensor-sht11/>
- una-Flores, W.; Estrada-Medina, H.; Jiménez-Osornio, J. J. M.; Pinzón-López, L. L. (2012). *EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE TRES ESPECIES ARBÓREAS CADUCIFOLIAS*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57325814006.pdf>
- Vásconez, F. (2013). *Red inalámbrica de sensores*. Obtenido de http://blogfabianv.blogspot.com/2013/04/redes-de-sensores-inalambricos-una-gran_24.html
- Vives, A. (2011). *Despliegue de IPv6*. Guayaquil: WALC2011.
- Zach Shelby, M. H. (2009). *6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet*. Torquay, UK: John Wiley & Sons.