

# Wireless Sensor Network in the Acquisition of Data in Greenhouses

*Red de Sensores Inalámbricos para la Adquisición de Datos en Casas de Cultivo*

**Alexandra Madruga-Peláez<sup>\*1</sup>, Abel Estevez-Pérez<sup>2</sup>, Richar Sosa<sup>2</sup>, Carlos M. García Algora<sup>2</sup>, Iván Santana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Biotecnología de las Plantas (Villa Clara, Cuba), <sup>2</sup> Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (Villa Clara, Cuba).

Correspondence e-mail: alexandra@ibp.co.cu\*

Received: 12/02/2019. Modified: 06/05/2019. Accepted: 05/07/2019

## Abstract

**Context:** The acquisition and storage of environmental parameters, through wireless sensor networks, makes it possible to analyze the growth and development of protected crops. This analysis in agriculture impose challenges because are living organisms and where it is not possible to control all the variables.

**Method:** A hardware and software architecture is designed using a wireless sensor network for acquisition of data in greenhouses. The simulations are carried out in the UEB of Various Crops “Valley of the Yabu” of Santa Clara for two hours with six measurement nodes, a coordinator and gateway. An energetic analysis of the proposal was made calculating the real life time of batteries.

**Results:** The experiments demonstrate the effectiveness of the design, storing all the measurements transmitted from different places inside the greenhouses. The energetic analysis guarantees high durability of the batteries of the measurement nodes.

**Conclusions:** With the acquisition system exposed, the values of the effective variables could be maintained or modified for reducing losses of resources and improving productive efficiency.

**Keywords:** Free hardware, precision agriculture, wireless sensor network.

**Language:** Spanish.

## Open access



Cite this work as: A. Madruga, A. Estevez, R. Sosa, C. García, I. Santana, “Wireless Sensor Network in the Acquisition of Data in Greenhouses”, Ingeniería, vol. 24, no.3, pp. 224-234, Sep-Dec. 2019.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI:<https://doi.org/10.14483/23448393.14437>

### Resumen

**Contexto:** La adquisición y almacenamiento de parámetros ambientales, a través de redes de sensores inalámbricos, posibilita el análisis del crecimiento y desarrollo de cultivos protegidos. Dicho análisis en la agricultura presenta retos por tratarse de seres vivos, además de que no es posible controlar todas las variables.

**Método:** En este trabajo se diseñó una arquitectura de *hardware* y *software* utilizando una red de sensores inalámbricos para la adquisición de datos en casas de cultivo. Las simulaciones de la propuesta se realizaron en la unidad empresarial básica de cultivos varios Valle del Yabú de Santa Clara durante dos horas con seis nodos de medición, un coordinador y el *gateway*. Se realizó un análisis energético de la propuesta calculando el tiempo de vida real de las baterías.

**Resultados:** Los experimentos demostraron la efectividad del diseño, almacenando todas las mediciones transmitidas desde diferentes lugares dentro de las casas de cultivos protegidos. El análisis energético garantizó una alta durabilidad de las baterías de los nodos de medición.

**Conclusiones:** Con el sistema de adquisición expuesto se podrían mantener o modificar los valores de las variables efectivas para reducir pérdidas de recursos y mejorar la eficiencia productiva.

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, hardware libre, red de sensores inalámbricos.

**Idioma:** Español

## 1. Introducción

La agricultura en el ámbito mundial está influida por los nuevos paradigmas tecnológicos; favorecida con los enormes avances en la informática y las comunicaciones. La agricultura de precisión surge con el desarrollo de nuevas tecnologías encaminadas hacia la agroindustria, definida como la utilización de un conjunto de tecnologías para la supervisión de condiciones físicas, químicas y climáticas del cultivo, con la finalidad de optimizar el uso de recursos en el proceso productivo y la calidad en los productos [1].

La recolección de información, supervisión y evaluación de un sistema de cultivo resulta determinante para una efectiva toma de decisiones [2]. Este enfoque es complejo, especialmente en entornos de procesamiento como es el caso de la agricultura debido al fuerte carácter estocástico que presenta [4], [5]. A su vez, la toma de decisiones relacionadas con el manejo de los recursos hídricos posibilita incrementos en la producción, aún más cuando se puede poner en peligro este propósito con un uso inadecuado [3].

Una de las tecnologías de mayor auge dentro de la agricultura de precisión en la adquisición de datos son las redes de sensores inalámbricos (WSN, *Wireless Sensor Network*) por su capacidad de despliegue en condiciones inaccesibles. En los últimos años, se han desarrollado numerosas aplicaciones de esta tecnología como herramienta facilitadora [6]. En países como China [7], España [8] y la India [9] se han utilizado las redes de sensores inalámbricos en los sistemas de irrigación. Otras investigaciones utilizan dichos sistemas para la supervisión de los parámetros ambientales [10]–[12], esto se debe al bajo precio de su implementación y mínimo consumo de energía, así como a las prestaciones alcanzadas con su uso [13]. Además, se han referido propuestas para agricultura

de precisión en casas de cultivo; de arquitecturas para la red de sensores inalámbricos, *hardware* libre y módulos de radiofrecuencia para la comunicación con protocolo *Zigbee* [14]–[17].

En la agricultura cubana, se han desarrollado programas de inversiones para la fabricación y adquisición de equipamientos modernos que integran las nuevas tecnologías de automatización, control y comunicaciones, con el objetivo de desarrollar una agricultura sostenible y productiva [18]. Especialmente en las casas de cultivo protegido, el control de parámetros ambientales generalmente se realiza a través de la experticia de sus trabajadores y por estimaciones empíricas. Contar con un sistema de supervisión automatizada que garantice un máximo de seguridad, ahorro de recursos y la toma de decisiones para optimizar el riego en el interior de las casas permitiría incrementar las producciones. Atendiendo a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo diseñar la arquitectura de *hardware* y *software* de una red de sensores inalámbricos, la cual permita la adquisición de variables ambientales en casas de cultivo para la toma de decisiones con respecto al riego.

## 2. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la unidad empresarial de base (UEB) Cultivos protegidos y semiprotegidos de la Empresa de Cultivos Varios Valle del Yabú, principal polo productivo de la provincia de Villa Clara, Cuba. La UEB cuenta con un sistema de casas de cultivo destinadas a la producción de ají pimiento (*Capsicum annum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.), entre otros cultivos con sistema de riego por goteo y fertirriego automatizado.

Para el proceso de recolección de datos se diseñó la arquitectura de *hardware* y *software* de una red de sensores inalámbricos que se desplegó en condiciones de producción en instalaciones (casas de cultivo) modelo Granma 1 de la empresa cubano-española EMBA-MSA A-12, diseñado por la empresa CARISOMBRA, de 540 m<sup>2</sup> (12 m de ancho y 45 m de largo), con una altura a la cumbre de 4,4 m, cerramiento superior con rafia plastificada (Ginegar, 140  $\mu$ m, 80 % luz difusa), ventana cenital abierta y malla sombreadora (35 %) por los laterales y el frente.

Teniendo en cuenta las prácticas agrícolas que se desarrollan en la UEB se definieron como las variables para la toma de decisiones en la programación del riego: la humedad relativa (%), humedad del suelo (%), temperatura del ambiente (°C) e intensidad luminosa (lux).

### 2.1. Arquitectura de *hardware* propuesta

Se utilizaron seis nodos de medición para un módulo (tres casas de cultivo), los cuales se comunicaron de forma inalámbrica con el nodo coordinador y el *gateway*. Estos últimos, fueron ubicados a cinco metros del módulo, en la caseta de fertirriego. Se colocaron dos nodos de medición por cada casa de cultivo distanciados equitativamente diez metros uno de otro. El experimento se realizó durante dos horas. Los nodos de medición, en los primeros minutos de funcionamiento de la red, se situaron dentro de la caseta de fertirriego para visualizar la respuesta de los sensores ante diferentes condiciones climáticas.

La propuesta de sistema de adquisición de datos incluyó sensores de acuerdo con sus especificaciones técnicas [19], [20], la cuales se muestran en la Tabla I. Dichos sensores tienen bibliotecas en la comunidad de *software* libre que facilitan su uso, e interfaz de fácil conexión y comunicación.

**Tabla I.** Principales especificaciones técnicas de los sensores propuestos en la arquitectura de hardware para el despliegue de una red de sensores inalámbricos en casa de cultivo.

Especificaciones técnicas	Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22	Módulos de sensor de humedad del suelo YL-69 y YL-38	Módulo de sensor fotosensible digital y analógico LM393
Voltaje de entrada	3,3 a 6 VDC	3,3 a 5 VDC	3,3 a 5 VDC
Voltaje de salida	señal digital por un bus simple	0 a 4,2 V	Salida digital: 0 o 5V con nivel de disparo ajustable Salida analógica: 0 a 5V en dependencia de la intensidad luminosa que incide sobre la fotorresistencia
Rango de operación	0 a 100 % para la humedad relativa-40 a 80 °C para la temperatura	-	-

Las placas microcontroladoras que se seleccionaron fueron de compañías como Raspberry Pi y Zolertia. Para controlar los nodos de medición y al coordinador se eligió el Zolertia RE-mote, ya que permite incorporar sensores analógicos y digitales. Además, posee soporte para el sistema operativo Contiki, diseñado especialmente para aplicaciones de WSN e IoT (*Internet of things*). Soporta el protocolo IPv6, 6LoWPAN (*IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network*) y el protocolo de ruteo para redes de bajo consumo (RPL, *Remote Initial Program Load*) que lo hacen idóneo para aplicaciones de IoT a través de redes de bajo consumo. Este microcontrolador maneja la energía de forma eficiente, lo que resulta crucial para aplicaciones de WSN. Como *gateway* de la red se utilizó el Raspberry Pi 3 Modelo B por contar con un soporte para tarjetas microSD para almacenar la información generada. También, presenta un puerto Ethernet, conectividad inalámbrica 802.11 b/g/n y *Bluetooth*, que propicia varias opciones de conectividad a otras interfaces e integra un procesador con la velocidad 1.2 GHz para dicha función.

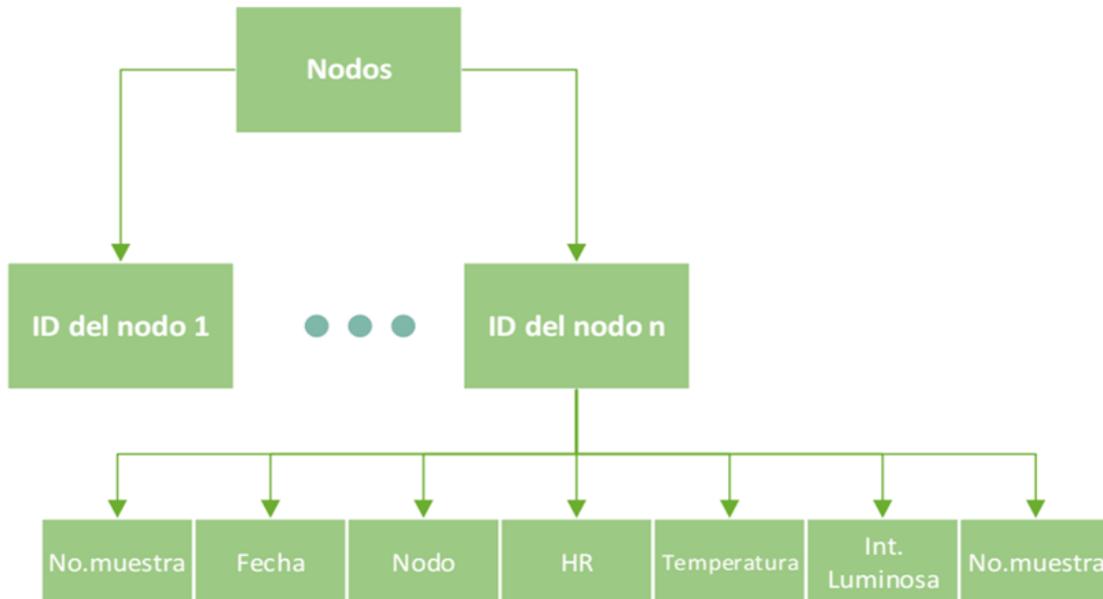
## 2.2. Arquitectura de software propuesta

En cuanto a la arquitectura de *software*, se seleccionó el sistema operativo Contiki ya que puede trabajar en tiempo real, posee un manejo eficiente de memoria, ahorro de energía y capacidad para el procesamiento multitarea.

La pila de protocolos utilizada implementa UDP (*User Datagram Protocol*) en la capa de transporte, en la capa de red el uso del protocolo 6LoWPAN como subcapa de adaptación para IPv6 y RPL. Dicha pila de protocolos está basada en la arquitectura 6TiSCH [21], a su vez esta definió la capa MAC (*media access control*) con TSCH [21] y la capa física (*PHY, Physical Layer*) con IEEE 802.15.4 PHY.

El proceso de almacenamiento de los datos inició posterior a que las mediciones procedentes de cada uno de los nodos llegaran al coordinador, este los transmite al *gateway* IoT a través de conexión USB. Luego, se almacenan en una base de datos implementada en la Raspberry a través del sistema de gestión MariaDB<sup>2</sup> como se expone en la Figura 1, según un número de identificador (ID) que posee cada nodo. Dicho número es obtenido en la Raspberry luego de la descomposición de la

trama, y sirve para que el programa conozca de qué nodo llegó la información. De esta forma, es posible elegir la tabla correspondiente en la base de datos para que sean almacenados los parámetros ambientales.



**Figura 1.** Distribución de las tablas en la base de datos de la arquitectura de *software* para el despliegue de una red de sensores inalámbricos en casa de cultivo.

### 2.3. Análisis energético

Para el análisis energético de la propuesta, se calculó el tiempo de vida útil de dos baterías AA con 3000 mAh de capacidad cada una. Los valores de corriente utilizados en el análisis son valores nominales proporcionados por las hojas de datos de los fabricantes [19], [20]. El ciclo de vida útil de radio (RDC, *Radio Duty Cycle*) queda determinado por el protocolo TSCH (*Time Slotted Channel Hopping*). El RDC es la relación porcentual entre el tiempo total que el radio permanece encendido y el tiempo total de funcionamiento de cada nodo, y para este diseño tiende al 2%. Se considera despreciable para este cálculo el consumo generado por el tiempo que el radio permanece en sleep, ya que es del orden de los nanoamperes. La capacidad en conjunto de las dos baterías AA en serie según es  $C_{bateria} = 6000 \text{ mAh}$  [22].

La expresión del tiempo de vida neta de las baterías para un RDC de un 100%:

$$I = \frac{C_{bateria}}{I_n} \quad (1)$$

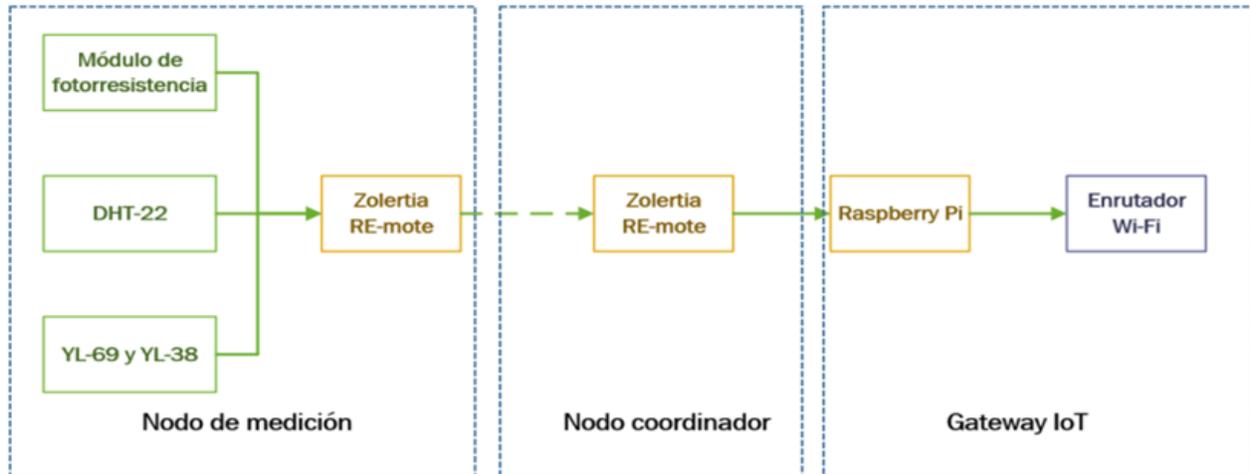
Siendo:

$C_{bateria}$ : capacidad energética de las baterías.

$I_n$ : consumo de corriente del nodo.

### 3. Resultados

La arquitectura general de la red de sensores inalámbricos quedó definida en dos bloques fundamentales: nodos de medición, distribuidos dentro de las casas de cultivos; y un nodo coordinador conectado al *gateway*, ubicados en la caseta de fertirriego (Figura 2).

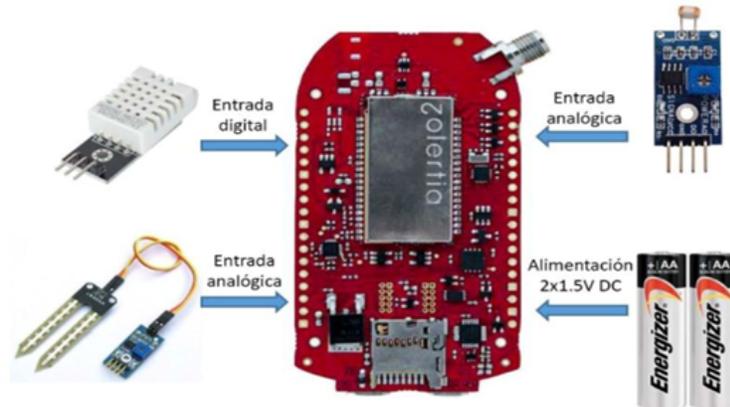


**Figura 2.** Arquitectura de hardware propuesto para el despliegue de una red de sensores inalámbricos en casa de cultivo.

#### 3.1. Resultados de la arquitectura de *hardware*

La arquitectura de *hardware* presentó la interconexión entre los componentes que integran el diseño. En los nodos de medición (Figura 3), los tres sensores se conectaron directamente al Zolertia RE-mote y se alimentan de este mismo dispositivo. El módulo de sensor fotosensible LM393 se acopló a un pin analógico, y envía un voltaje equivalente a la intensidad luminosa dentro de la casa de cultivo. El sensor DHT22 fue conectado a una entrada digital del RE-mote para enviar los valores de temperatura y humedad relativa. Por último, los módulos YL-69 y YL-38 se enlazaron a otra entrada analógica del Zolertia que brindó la información correspondiente a la humedad del suelo, luego de ser introducido el YL-69 bajo tierra en los canchales. En todos los nodos de medición, los Zolertia RE-mote son alimentados con dos baterías AA de 1,5 V.

El nodo coordinador de la red estuvo compuesto por un Zolertia RE-mote. Al coordinador llegó la información transmitida de un nodo a otro, en él se hacen configuraciones para el correcto funcionamiento de la red. El bloque *gateway* de la red estuvo compuesto por una Raspberry Pi 3 Model B conectada vía Ethernet a un enrutador Wi-Fi (Figura 4), que puede brindar servicios de conectividad a usuarios que mediante aplicaciones accedan a los datos. Implementada en esta computadora, se encuentra una base de datos que almacenó de forma ordenada los valores de las variables ambientales que envió hacia ella el nodo coordinador a través de una interfaz USB.



**Figura 3.** Arquitectura de los nodos de medición para el despliegue de una red de sensores inalámbricos en casa de cultivo.



**Figura 4.** Arquitectura del nodo coordinador y el *gateway* para el despliegue de una red de sensores inalámbricos en casa de cultivo.

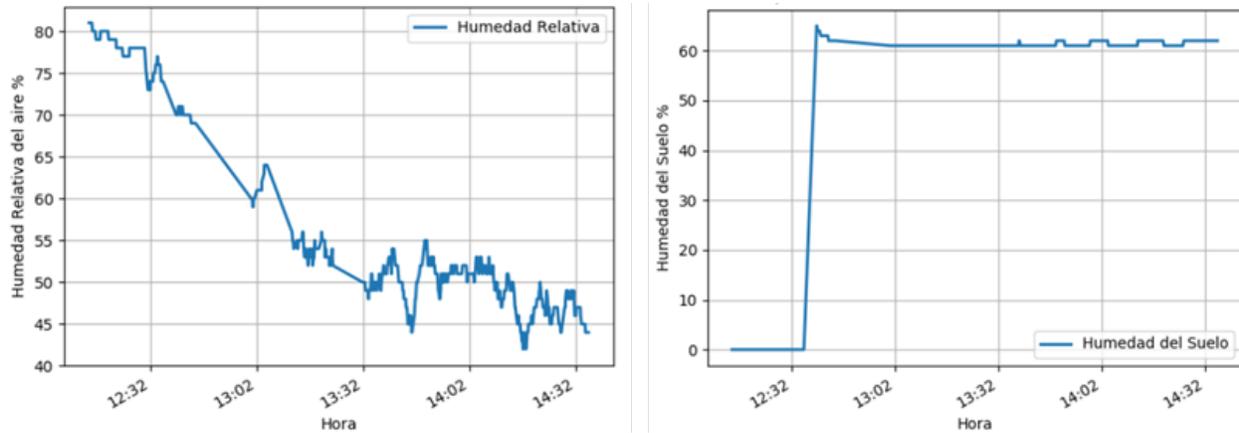
La instalación de un nodo de medición se muestra en la Figura 5, funcionando dentro de las casas de cultivo en el momento del comienzo de la adquisición de datos. Se puede observar la carcasa protectora que contiene parte del *hardware* del diseño de cada uno de los nodos.



**Figura 5.** Arquitectura del nodo coordinador y el *gateway* para el despliegue de una red de sensores inalámbricos en casa de cultivo.

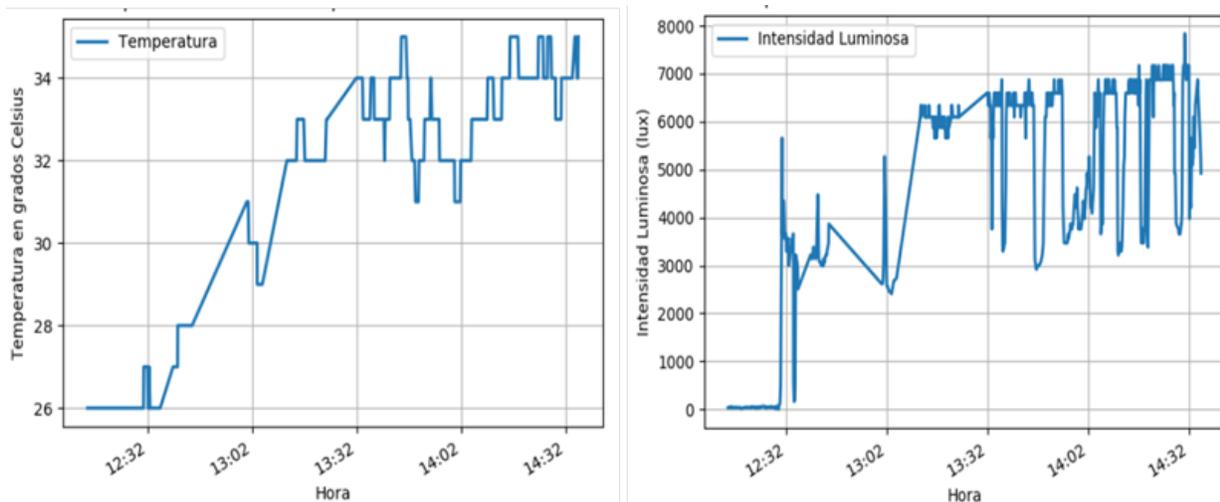
### 3.2. Resultados de la arquitectura de *software*

Los valores obtenidos del nodo 2 demostraron que la red se comunicó de forma correcta con el coordinador y la Raspberry, ejemplo de la prueba realizada se observan en la Figura 6 y la Figura 7. El cambio que experimentaron todas las gráficas a partir de las 12:32 am (hora de traslado de los nodos de la caseta a las casas de cultivo), evidenció la rápida respuesta de la arquitectura de *hardware* ante cambios bruscos. La arquitectura de *software* propuesta es funcional, ya que fueron almacenados en la base de datos del *gateway* los valores de las mediciones.



**Figura 6.** Valores de la humedad relativa y humedad del suelo del nodo 2 para la validación del despliegue de la red de sensores inalámbricos en una de las casas de cultivos.

El sensor de humedad del suelo exhibió valores congruentes de parámetros del ambiente, ya que permanece indicando 0 % de humedad del suelo en la caseta hasta que se coloca bajo tierra.



**Figura 7.** Valores de la temperatura del aire e intensidad luminosa del nodo 2 para la validación del despliegue de la red de sensores inalámbricos en una de las casas de cultivos.

Los valores de temperatura comienzan a aumentar de 26 °C en adelante al entrar en contacto con la luz solar hasta llegar a 36 °C. Este mismo comportamiento lo presentó la intensidad luminosa.

### 3.3. Análisis energético del diseño

En el diseño de WSN es de vital importancia maximizar la durabilidad de la fuente de alimentación de los dispositivos, con el objetivo de reducir las sustituciones y, por tanto, de ahorrar recursos. Para el análisis energético de la propuesta se muestra en la Tabla II, el consumo total de cada nodo de medición en el momento que el radio estuvo encendido.

**Tabla II.** Consumo de los componentes que integran un nodo de medición con la radio encendida para el análisis energético.

Elemento de consumo	Corriente de consumo
Módulo de intensidad luminosa	0,1 mA
Sensor DHT-22	1,5 mA
Módulo de humedad del suelo	0,05 mA
Radio	24 mA
Consumo total	25,65 mA

Para obtener el tiempo de vida real de las baterías se debe multiplicar la ecuación (1) por el  $RDC = 2\%$ .

$$t_{bateria} = \frac{6000mAh * 100}{25,65mA * 2} \approx 487 \text{ dias} \quad (2)$$

Se puede concluir que la arquitectura de *software* que estableció este valor de RDC es muy eficiente energéticamente, proporcionando a cada nodo, con dos baterías AA de 3000 mAh de capacidad, un tiempo de funcionamiento de 487 días aproximadamente, sin reemplazo de baterías.

## 4. Conclusiones

La arquitectura de *hardware* propuesta aseguró la recolección y transmisión de las variables medidas, ello permitió conocer el estado actual de las variables efectivas de la producción.

La arquitectura de *software* implementada sobre el sistema operativo Contiki permitió cumplir con los requisitos operacionales propuestos. El despliegue demostró la comunicación con el coordinador y el *gateway* IoT asegurando el almacenamiento de los valores medidos de cada uno de los nodos.

El análisis energético de los nodos demostró que con un ciclo útil del radio del 2%, se garantiza una alta durabilidad de las baterías de los nodos de medición, extendiendo la vida útil de estos.

Con el sistema de adquisición de datos implementado sería posible el modelado del riego para lograr una correcta toma de decisiones que asegure una producción con menos gastos de recursos y mayor eficiencia.

Los trabajos futuros se deberán dirigir hacia la evaluación del desempeño de la red después de varios ciclos de cosecha y el modelado del sistema de irrigación.

## Referencias

- [1] L. Romero, F.M. Piña y M.M Goire. “Red de sensores inalámbricos para las casas de cultivos protegidos San José”, *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 39, no. 1, pp. 16-26, 2018. ↑225
- [2] I. Mohanraj, K. Ashokumar and J. Naren, “Field monitoring and automation using IOT in agriculture domain”, *Procedia Computer Science*, vol. 93, pp. 931-939, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.275> ↑225
- [3] A. Anaya-Isaza, D.H. Peluffo-Ordoñez, J. Ivan-Rios, J.A. Castro-Silva, D.A.C. Ruiz y L.H.E. Llanos, “Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT)”, 2016. ↑225
- [4] J. Arriaga, “Modelado, simulación y control del uso del agua en la agricultura, PhD thesis, Universidad de Sevilla: *Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Sevilla*, 2015. ↑225
- [5] E.G. Leijia-Loredo, H. Reyes-Hernández, O. Reyes-Pérez, J.L. Flores-Flores y F.S. Sahagún-Sánchez, “Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México”, *Madera y bosques*, vol. 22, no. 1, pp. 125-140, 2016. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221481> ↑225
- [6] A.Z. Abbasi, N. Islam, Z.A. Shaikh, “A review of wireless sensors and networks’ applications in agriculture”, *Computer Standards & Interfaces*, vol. 36, no. 2, pp. 263-270, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004> ↑225
- [7] X. Zhang, Q. Wen, D. Tian and J. Hu, “PVIDSS: Developing a WSN-based Irrigation Decision Support System (IDSS) for Viticulture in Protected Area”, *Applied Mathematics & Information Sciences*, vol. 9, no. 2, pp. 669, 2015. ↑225
- [8] H. Navarro-Hellín, R. Torres-Sánchez, F. Soto-Valles, C. Albaladejo-Pérez, J.A López-Riquelme and R. Domingo-Miguel, “A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management”, *Agricultural Water Management*, vol. 151, pp. 64-74, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.022> ↑225
- [9] K. Taneja and S. Bhatia, “Automatic irrigation system using Arduino UNO”. In *Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 2017 International Conference on, June 2017. <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2017.8250693> ↑225
- [10] A.K. Meeradevi and M.R. Mundada, “ZigBee Based Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture-The Survey”, *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, vol. 4, no. 5, 2015. ↑225
- [11] G. Deepika and P. Rajapirian. “Wireless sensor network in precision agriculture: A survey”. In *Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS)*, International Conference on, February 2016. <https://doi.org/10.1109/ICETETS.2016.7603070> ↑225
- [12] M.S. Pujari and M.N. Bogiri, “A Survey on Wireless Sensor Network For Agriculture”, *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 5, no. 7, pp. 269-272, 2017. ↑225
- [13] J. Carranza, “Soluciones de automatización para sistemas de regadío en caña de azúcar”, Tesis, *Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara*, 2016. ↑225
- [14] D.D. Chaudhary, S.P. Nayse and L.M. Waghmare. “Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture”, *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, vol. 3, no. 1, pp. 140-149, 2011. <https://doi.org/10.5121/ijwmn.2011.3113> ↑226
- [15] S. Angal, “Raspberry pi and Arduino Based Automated Irrigation System”, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 5, no. 7, 2016. <https://doi.org/10.21275/v5i6.NOV164836> ↑226
- [16] J. Baviskar, A. Mulla, A. Baviskar, S. Ashtekar and A. Chintawar. “Real time monitoring and control system for green house based on 802.15. 4 wireless sensor network”. In *Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, 2014 Fourth International Conference on, pp. 98-103, April 2014. <https://doi.org/10.1109/CSNT.2014.28> ↑226
- [17] Z.A.S. Rhman, “Wirelessly Controlled Irrigation System”, *Iraqi Journal for Electrical And Electronic Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 89-99, 2014. <https://doi.org/10.33762/eeej.2014.95596> ↑226
- [18] E.R.J. Espinosa, “Parámetros de explotación y uniformidad de riego en la máquina de pivote central OTECH-IRRIMEC”, *Revista Ingeniería Agrícola*, vol.1, no. 1, pp. 7-12, 2017. ↑226
- [19] Aosong Electronics, “Temperature and humidity module DHT11 Product Manual”, Guangzhou, 2016. ↑226, 228
- [20] Sunrom Co, Disponible en: [www.sunrom.com/p/light-sensing-module-ldr](http://www.sunrom.com/p/light-sensing-module-ldr). ↑226, 228
- [21] P. Thubert and T. Watteyne, “An Architecture for IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15. 4”. *Working Draft*,

- IETF Secretariat, Internet- Draft draft-ietf-6tisch-architecture-08*, 2015. ↑227
- [22] C. M. García Algora, V. A. Reguera, N. Deligiannis and K. Steenhaut. “Review and Classification of Multichannel MAC Protocols for Low-Power and Lossy Networks”. *IEEE Access*, vol. 5, pp. 19536-19561, 2017. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2748178> ↑228

---

### **Alexandra Madrugá Peláez**

Ingeniera en Automática de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas [UCLV] (Cuba, 2016), reserva científica del Instituto de Biotecnología de las Plantas y miembro del proyecto de investigación “Ampliación de la automatización de las casas de cultivo de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú”.

Correo electrónico: alexandra@ibp.co.cu

---

### **Abel Alejandro Estevez Pérez**

Ingeniero en Automática de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas [UCLV] (Cuba, 2018) y miembro del proyecto de investigación “Ampliación de la automatización de las casas de cultivo de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú”.

Correo electrónico: aeperez@uclv.cu

---

### **Richar Sosa López**

Máster en Automática (2017). Profesor asistente del Departamento de Automática de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UCLV. Cuenta con siete años de experiencia laboral como docente en la UCLV. Es miembro del Grupo de Investigación de Internet de las cosas e Inteligencia Artificial para la Automatización (GIoTAAI) y del proyecto de investigación “Ampliación de la automatización de las casas de cultivo de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú”.

Correo electrónico: rslopez@uclv.edu.cu

---

### **Carlos M. Garcia Algora**

Ing. Telecomunicaciones y Electrónica (UCLV, 2011), Máster en Telemática (UCLV, 2014) y Doctor en Ciencias (Vrije Universiteit Brussel, VUB; UCLV, 2018). Profesor del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UCLV. Es miembro del Grupo de Investigación de Internet de las cosas e Inteligencia Artificial para la Automatización (GIoTAAI) y del proyecto de investigación “Ampliación de la automatización de las casas de cultivo de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú”.

Correo electrónico: cgalgora@uclv.edu.cu

---

### **Iván Santana Ching**

Doctor en Ciencias (2012) y Máster en Automática (2004). Profesor titular del Departamento de Automática de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UCLV. Cuenta con diecinueve años de experiencia laboral como docente en la UCLV. Dirige el Grupo de Investigación de Internet de las cosas e Inteligencia Artificial para la Automatización (GIoTAAI) y del proyecto de investigación “Ampliación de la automatización de las casas de cultivo de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú”.

Correo electrónico: ching@uclv.edu.cu