

***SGreenH-IoT*: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión.**

Juan A. GUERRERO-IBAHÑEZ, Fermín P. ESTRADA-GONZALEZ, Miguel A. MEDINA-TEJEDA
Facultad de Telemática, Universidad de Colima
Colima, Colima 28040/Av. Universidad 333, Colonia Las Víboras, México

Ma. G. RIVERA-GUTIERREZ, Juan M. ALCARAZ-AGUIRRE, Celso A. MALDONADO-MENDOZA, David TOLEDO-ZUÑIGA, Victor I. LOPEZ-GONZALEZ
Empresa Innova Thing S.A. de C.V.
Colima, Colima 28017/Quetzales 1225, Residencial Santa Bárbara, México

RESUMEN

En los últimos años, el uso de la tecnología en el sector agrícola ha tenido un fuerte impulso por parte de investigadores. El surgimiento del Internet de las Cosas (IoT) y su colaboración con otras tecnologías como el cómputo en la nube ha permitido procesar y analizar datos en tiempo real facilitando la toma de decisiones. En este artículo presentamos *SGreenH-IoT* una plataforma IoT de bajo costo y consumo energético para la monitorización de campos de cultivo e invernaderos. La plataforma la conforman una arquitectura de 4 capas, un protocolo de comunicación, el diseño de un nodo de bajo costo y consumo de energía y una aplicación web para la visualización de los datos. Los resultados obtenidos mediante experimentación muestran el funcionamiento efectivo de la plataforma para la recolección de datos y la integración con la toma de decisiones, con porcentaje de pérdidas de datos del cero por ciento.

Palabras Claves: Agricultura de precisión, Internet de las Cosas, Sensores y actuadores, invernaderos, cómputo en la nube.

1. INTRODUCCIÓN

La población mundial está aumentando de forma descontrolada, demandando un incremento en la producción agrícola. Sin embargo, los modelos tradicionales de agricultura no pueden satisfacer las demandas actuales. Los agricultores carecen de herramientas para recolectar información que sustente la toma de decisiones para mejorar su producción. La agricultura genera mucha de la comida necesaria, pero también consume mucha del agua disponible en la tierra. Es necesario un cambio significativo para satisfacer las demandas actuales. Existe la necesidad de crear mecanismos o soluciones que generen un balance entre la producción agrícola y la optimización de los recursos utilizados (agua, fertilizante, entre otros), contribuyendo a una producción sustentable.

La aplicación de la tecnología representa una amplia oportunidad para mejorar el desarrollo agrícola. Esta integración de la tecnología a la agricultura ha creado el concepto de agricultura de precisión. La agricultura de precisión hace referencia a la gestión de parcelas agrícolas o invernaderos mediante la monitorización, el procesamiento y la actuación de la variabilidad inter e intra-cultivo [1]. La agricultura de precisión contribuye a i) combatir las enfermedades epidémicas mediante la aplicación de la cantidad y tipo adecuado de fertilizante y fungicida, ii) Optimizar el consumo de recursos (agua, fertilizantes, etc.), y iii) Proporciona un valor añadido a la producción agrícola al generar productos más saludables [2].

Internet de las Cosas es una tecnología que ha tomado un fuerte impulso en los últimos años entre los investigadores, académicos y desarrolladores como una tecnología viable para su aplicación en el sector agrícola [3-4]. IoT permite que la información recolectada se envíe a Internet en tiempo real, de tal manera que los sistemas de información puedan procesar los datos y notificar a los agricultores condiciones anormales para poder tomar decisiones o medidas que contribuyan a mejorar el proceso productivo.

En este trabajo se presenta *SGreenH-IoT*, una plataforma IoT de bajo costo y bajo consumo de energía para la monitorización de campos de cultivo e invernaderos. La plataforma está formada por una arquitectura de 4 capas que define todas las funciones de los componentes de la plataforma, un conjunto de nodos de monitoreo y coordinadores para la recolección de datos y su transmisión a un servidor central, un protocolo de comunicación para el intercambio de información entre los nodos que conforman la plataforma, y una interfaz web para el despliegue de la información a los usuarios.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se realiza un breve estado del arte de IoT en la agricultura. La sección 3 describe a detalle la plataforma propuesta. La sección 4 explica las pruebas de laboratorio realizadas y finalmente en la sección 5 se muestran las conclusiones y trabajos futuros.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

IoT es una tecnología que ha tenido un fuerte impulso en los últimos años. Diferentes trabajos proponen arquitecturas y plataformas IoT para diferentes aplicaciones como la agricultura, ciudades inteligentes y cuidado de la salud [5-7].

La literatura presenta propuestas que describen aplicaciones tecnológicas para control y automatización de procesos agrícolas [8-10]. Algunos de esos trabajos se enfocan en el desarrollo de sistemas IoT para el monitoreo de diferentes variables físicas (como la temperatura y temperatura del suelo) en aplicaciones de agricultura de precisión [11-13]. Otros trabajos proponen plataformas basadas en IoT para el control del consumo del agua a través de tecnología celular y servicios en la nube [14-17].

Otras propuestas están basadas en una conexión entre el control de procesos y sensores remotos, como el presentado en [18], sin embargo, los autores no explican la forma de entrega de los datos de las diferentes fuentes (sensores, actuadores, coordinadores). La mayoría de estas aplicaciones generan una gran cantidad de datos que son procesados en sistemas propios o desarrollados a nivel de investigación [19].

Algunos autores se han enfocado en el monitoreo en tiempo real y el estudio inter-temporal de la variabilidad de impactos ambientales mediante la aplicación de redes de sensores para minimizar los riesgos de producción [20–21]. Autores como Khosroo [22] y Pahlavan [23] han estudiado los efectos de incrementar la eficiencia de energía en la agricultura a través del uso de balance de energía para la producción en invernaderos y la optimización del consumo de energía en la producción de uva. Los Autores discuten que el desarrollo de procedimientos de producción de cultivos más limpios incrementará la eficiencia en la agricultura como se presenta en [24]. Por otro lado, Bardi y colaboradores [25] argumentan que la tecnología no es el único factor que ha influido en la agricultura moderna, argumentando que la clave para la transición hacia la agricultura sostenible será influenciada por la cooperación de todos los actores en el sector (tecnología, agricultores, industrias, instituciones financieras, política y toma de decisiones, entre otros). Esta colaboración proporcionará soluciones a conflictos y deficiencias que generará mejores soluciones para un desarrollo sostenible.

En este trabajo usamos IoT y algoritmos de comunicación para el monitoreo y análisis de datos para control de ambientes de producción agrícola. Mediante resultados experimentales, nuestro objetivo es desarrollar una plataforma robusta, de bajo costo y mantenimiento que sea usada para el control y automatización de producción de cultivos en invernadero y campos agrícolas.

3. DESCRIPCIÓN DE SGreenH-IoT

La plataforma SGreenH-IoT está diseñada para satisfacer las necesidades de monitoreo remoto, reduciendo la inversión de recurso humano. Esta sección explica los componentes principales de la plataforma.

Arquitectura lógica

La arquitectura de la plataforma está conformada por 4 capas, las cuales se muestran en la figura 1.

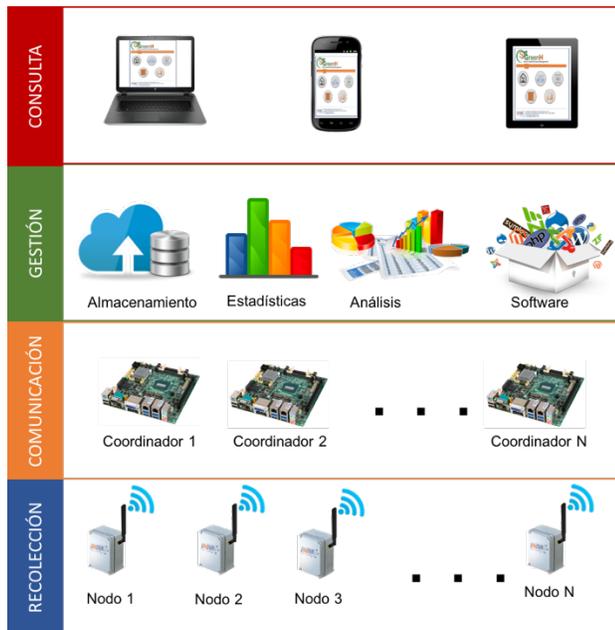


Figura 1.- Arquitectura de capas de SGreenH-IoT

Recolección: La capa de recolección representa el hardware de la plataforma, conformado por los nodos sensores, los cuales contienen un conjunto de sensores y actuadores. En la agricultura de precisión se utilizan diferentes sensores para medir la variedad de atributos ambientales (humedad y temperatura del aire, humedad y temperatura del suelo, velocidad y dirección del viento, niveles de pH y CO₂ entre otros). Por otro lado, con base en los datos colectados, la plataforma tiene la capacidad de ejecutar acciones tales como aplicar los fertilizantes, activar el sistema de riego, encender los sistemas de enfriamiento y controlar el despliegue de las cortinas en invernaderos, entre otros. Estas acciones son realizadas mediante actuadores mecánicos para controlar los sistemas, comunicándose mediante los protocolos I²C (Circuito Inter-Integrado) y SPI (Interface Serial Periférica).

Comunicación: La capa de comunicación es la que permite la transmisión de los datos recolectados por los nodos sensores al servidor central de almacenamiento en la nube. Los nodos sensores se comunican entre sí mediante el protocolo *ZigBee*. Los nodos coordinadores cuentan con un radio de comunicación *ZigBee* para comunicarse con los nodos sensores y otro radio de comunicación celular para realizar la transmisión de los datos hacia el servidor central en la nube.

Gestión: Esta capa es responsable de administrar todas las acciones que se ejecutan con base en un análisis de los datos recolectados por los nodos sensores. Esta capa es implementada en un servidor en la nube que ofrece varios servicios entre los que podemos mencionar: i) almacenamiento de la información, ii) análisis de la información, iii) visualización de los datos procesados y iv) realiza una interfaz de programa (API) para que el usuario final pueda tener acceso a la información. La figura 2 muestra los componentes del servidor de la nube.

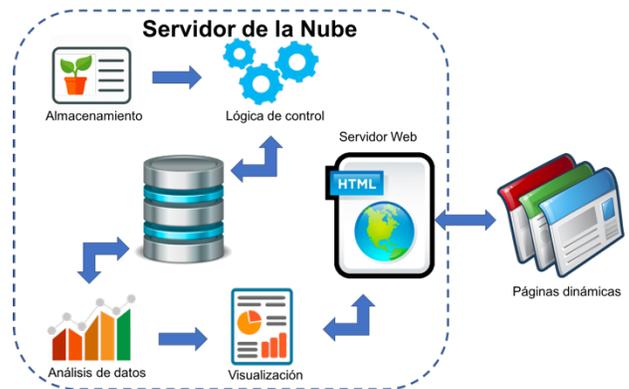


Figura 2.- Arquitectura del servidor en la Nube.

Consulta: Esta capa es responsable de la interacción del usuario final con la plataforma. Toda la información es visualizada mediante páginas web dinámicas realizadas con *PHP*, *HTML5*, *CSS* y *JQuery*. Mediante esta interfaz el agricultor puede activar los sistemas en forma i) manual, apagando o encendiendo el sistema en el momento, ii) temporizada, registrando tiempos de activación y apagado del sistema o iii) automática permitiendo que la plataforma tome las decisiones con base en el comportamiento del ambiente.

Estructura

La figura 3 presenta la infraestructura de la plataforma *SGreenH-IoT*. El modelo de topología de red está basado en clusters y un modelo de comunicación plano al interior del cluster. El cluster

tiene la responsabilidad de recolectar información de cierta zona del área de cultivo y está formado por un conjunto de nodos sensores y un coordinador que se encarga de regular los tiempos de monitoreo de cada nodo. La comunicación entre los nodos se lleva a cabo mediante *ZigBee*. La información recolectada por los coordinadores se envía a la nube a través de una conexión de red celular (3G/4G).

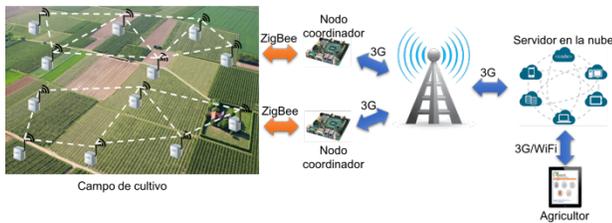


Figura 3.- Estructura física de *SGreenH-IoT*.

Diseño del hardware

SGreenH-IoT está compuesto por dos nodos principales: el nodo sensor y el nodo coordinador.

Nodo Sensor: La figura 4 muestra la arquitectura general del nodo sensor. La estrecha interrelación de estos elementos compone la arquitectura hardware del sistema.

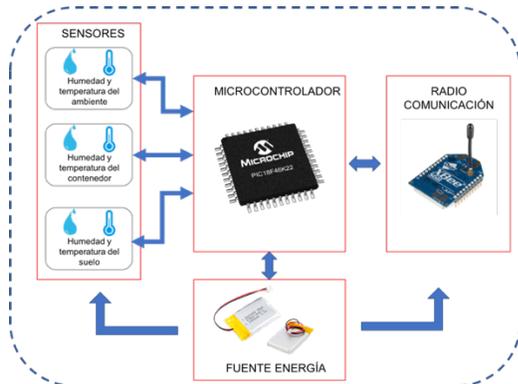


Figura 4.- Diagrama de bloques del nodo sensor *SGreenH-IoT*.

Microcontrolador: Para el desarrollo del nodo se utilizó el microcontrolador PIC18LF46K22 de Microchip™ el cual es capaz de ejecutar hasta 16 MIPS (Millones de Instrucciones Por Segundo) con un voltaje de alimentación de 3.3V y consumo máximo del CPU de 9.0 mA. Cuenta con 30 canales externos de conversión analógica a digital (ADC) en resolución de 10 bits; un módulo de comparación analógico; 35 terminales de E/S digitales; dos módulos de puerto serie síncronos en modo maestro (MSSP) que soportan comunicaciones SPI e I2C; dos módulos síncronos, asíncronos receptores universales mejorados (EUSART), 64KBytes (32K palabras) para la memoria de programa; 3896 bytes de memoria RAM (3.8KB); y 1024 bytes de memoria para datos EEPROM.

Sensores: La placa desarrollada tiene capacidad de interconexión de 4 diferentes tipos de sensores. Para el prototipo de nodo sensor se usaron tres sensores de humedad y temperatura para medir las diferentes condiciones del ambiente exterior, interior al dispositivo y del suelo.

El sensor AM2315 (figura 5a) monitoriza humedad relativa (H.R.) y temperatura ambiental del entorno externo inmediato al nodo sensor, este cuenta con encapsulado especial para proteger

la electrónica sensible a la humedad directa y cuatro cables, dos para alimentación de corriente directa y dos más para la comunicación síncrona. Para establecer comunicación, emplea el estándar I²C de baja velocidad (100Kbps), funciona con voltaje de alimentación de entre 3.5 a 5.5 voltios de corriente directa, en un rango de H.R. de 0 a 100% con resolución de 0.1% y precisión de $\pm 2\%$, registra temperaturas entre -20°C y 80°C , velocidad de muestreo de dos segundos, un consumo de corriente de 8mA en la comunicación con el dispositivo maestro (actividad), 500uA mientras toma muestras, y 15uA en modo de ahorro de energía.

Para monitorizar el interior del contenedor del nodo sensor se emplea el transductor DHT22, también identificado como AM2302 (figura 5b) que no cuenta con encapsulado resistente a la intemperie. Este dispositivo cuenta con tres terminales; dos para alimentarlo y una más para comunicación bidireccional. La comunicación es establecida con protocolo propietario de un solo bus de datos e iniciada por el dispositivo maestro, la transferencia de información toma 5mS. Debido a que cuenta con una computadora en el encapsulado, entrega información de las dos variables físicas en formato digital con parte entera y fraccionaria. El voltaje de alimentación soportado para la operación se encuentra en el rango de 3.3 a 6.0 voltios de corriente directa. El rango de medición para la humedad relativa se encuentra entre el 0 y 100%, con una sensibilidad de 0.1% y una precisión típica del $\pm 2.0\%$ y una máxima de $\pm 5.0\%$ a 25°C . La temperatura es registrada en el rango de -40°C a 80°C , con sensibilidad de 0.1°C y precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. La velocidad de muestreo es de una cada dos segundos. El consumo de corriente es de 1.5mA en la medición y comunicación, y de tan solo 50uA en modo de espera.

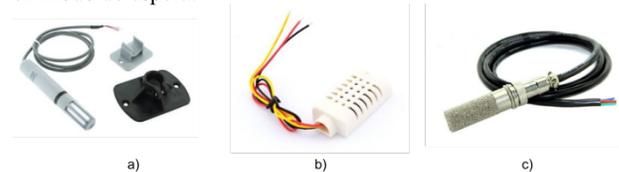


Figura 5.- Sensores usados en *SGreenH-IoT*, a) AM2315 b) AM2302 c) STH11.

Finalmente, monitorizar el suelo directamente requiere de un sensor que cuente con un encapsulado especial que proteja la electrónica contra la humedad directa y el lodo, ya que estos factores pueden saturar las membranas envejeciendo el sensor y/o provocando lecturas fuera de proporción. El sensor STH11 (figura 5c) en encapsulado especial para humedad y temperatura directamente en la tierra, se encuentra protegido contra la humedad directa y corrosión. Cuenta con cuatro terminales de interfaz; dos para la alimentación de energía y dos más para la comunicación síncrona. La comunicación es iniciada por el dispositivo maestro, empleando un protocolo similar a I2C, hay una terminal de reloj para sincronizar la comunicación desde y hacia el sensor, y otra terminal bidireccional para transferir los datos. Los voltajes de alimentación máximos y mínimos se encuentran en el rango de 5.5V a 2.4V, el voltaje de alimentación recomendado por el fabricante es de 3.3V. El microprocesador en el sensor puede entregar lecturas de humedad y temperatura con resoluciones de 8/12/14 bits, con tiempos de respuesta mínimos de 20/80/300mS respectivamente. Debido a lo anterior, las resoluciones para humedad relativa son de 0.4% para la mínima cantidad de bits y de 0.05% para las dos escalas siguientes, y la precisión es de $\pm 3.0\%$. Para la temperatura, la resolución es de 0.04°C para 12 bits y de 0.01°C para 14 bits, la precisión es de $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$. Un consumo de corriente máximo de

4.0mA durante la comunicación y 1.5uA en modo de ahorro de energía.

Finalmente, la figura 6 muestra un diagrama de flujo del funcionamiento interno para el microcontrolador de los nodos sensores. Cuando un nodo sensor se activa, primero realiza una preparación de sensores, librerías, puertos, entre otros elementos necesarios para cumplir su función. Se toman decisiones a nivel lógico para conocer si es necesario enviar información o recibirla. El nodo ejecuta las diferentes instrucciones hasta que se termine su tiempo de recolección de datos y los transmite al nodo coordinador, posteriormente entra en modo de reposo y ahorrar la energía necesaria para su funcionamiento.

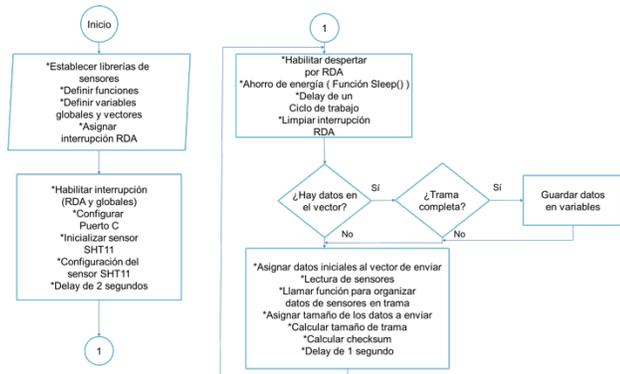


Figura 6.- Diagrama de flujo de funcionamiento del nodo sensor SGreenH-IoT.

Comunicación: Los nodos recolectan los datos y los transmiten hacia una base de datos remota, y las aplicaciones de usuarios deben interactuar con los nodos para configurar parámetros de forma local, tales como: velocidad de recuperación de muestras desde los sensores, selección de variables específicas a transmitir, etc.

Para llevar a cabo estas actividades, el microcontrolador se conecta por medio de una UART con un módulo de radio *XBee PRO S2C*. Este módulo opera en la banda de frecuencia ISM de 2.4Ghz, que permite un alcance de: 90 metros en interiores o zonas urbanas, y de 3,200 metros en exteriores con línea de vista. Transmite con una potencia máxima de 63mW (+18dBm), y recibe con sensibilidad -101dBm. Para maximizar la cobertura de la comunicación en esta aplicación, ha sido seleccionado un módulo con opción de antena externa RPSMA de 2.1dBm. El módulo de comunicaciones se alimenta de energía en un rango de voltaje de 2.7V a 3.6V, y consume; 120mA en ráfagas de transmisión y 31mA en recepción.

Batería: La energía para alimentar el nodo es un tema importante, debido a la posibilidad de incrementar el número de dispositivos o redistribución física en el área a monitorizar, sin necesidad de cables largos que lleven energía para alimentarlos. Para cumplir con los requerimientos de diseño mencionados, una batería de iones de litio ha sido seleccionada como fuente de energía para suministrar energía a los elementos electrónicos de la arquitectura del nodo, y además dotarlo de autonomía.

La batería fabricada con química de iones de litio, una sola celda capaz de entregar: 3.7 voltios de corriente directa, corriente de 2000mA, descarga sostenida de 2C (2 veces la corriente nominal indicada por el fabricante), además incluye circuito impreso con protección contra descargas y sobre cargas para asegurar la vida útil y evitar riesgo de incendio por cortocircuitos.

Nodo Coordinador: Por otro lado, el nodo coordinador cuenta con un diseño simple de hardware, como se muestra en la figura 7. Se utilizó una Raspberry Pi 3 model B+ por sus diversas características que proporcionan un funcionamiento adecuado para este proyecto; a la placa se le añadió el radio XBee coordinador. Los radios XBee S2C de los nodos sensores son previamente configurados por el programa XCTU, donde se designa un coordinador. La comunicación se realiza haciendo transmisión multi-salto si están a una distancia lejana, o en su defecto, hacer una transmisión directa hacia el nodo coordinador cuando esté dentro de su área de cobertura.

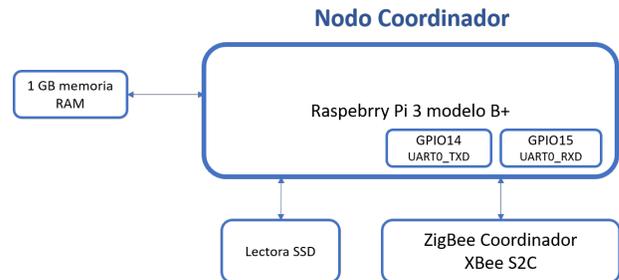


Figura 7.- Diagrama de bloques del nodo coordinador SGreenH-IoT.

Protocolo de comunicación

Para la transmisión de los datos desde los nodos sensores hacia los nodos coordinadores se desarrolló un protocolo de comunicación en lenguaje C, el cual fue implementado en todos los nodos. Además del protocolo de comunicación se realizaron varios *scripts* en *Python* implementados en el nodo coordinador los cuales se encargan de la transmisión de los datos al servidor central en la nube para su almacenamiento y análisis. La figura 8 muestra el proceso de comunicación del protocolo propuesto.

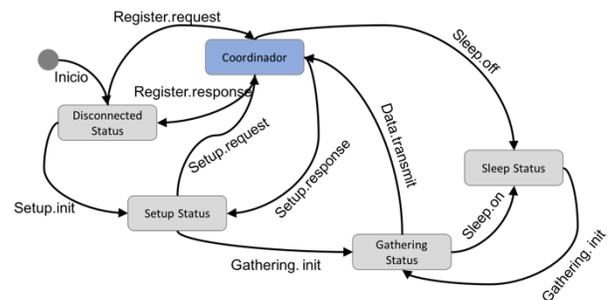


Figura 8.- Diagrama de bloques del nodo sensor SGreenH-IoT.

Cuando el nodo se activa por primera vez en la red (*Disconnected status*), envía una solicitud de registro (*Register.request*) al coordinador. El coordinador lo registra en su tabla de nodos y le responde al nodo con el mensaje *Register.response*. Cuando el nodo recibe la respuesta, cambia su estado a *Setup Status*, en ese momento el nodo sensor envía la solicitud de configuración al coordinador (*Setup.request*). El nodo coordinador le responde con la configuración de los tiempos asignados para cada sensor (*Setup.response*). Cuando el nodo sensor recibe la respuesta cambia su estado a *Gathering Status* para comenzar con la recolección de la información. Cuando el nodo sensor recolecta los datos de los sensores los transmite al nodo coordinador (*Data transmit*) y pasa al estado *sleep Status* para ahorrar energía. Cuando el nodo coordinador solicita el envío de los datos colectados envía un mensaje al nodo sensor (*Sleep.off*). Cuando

el nodo sensor recibe el mensaje cambia su estado a *Gathering Status* y comienza el proceso de recolección nuevamente.

4. PRUEBAS DE LABORATORIO

Para probar el rendimiento del sistema en general, se realizó un pequeño escenario donde se colocaron cuatro nodos sensores (Figura 9) para verificar el envío de datos hacia el nodo coordinador, para que éste pueda separarlos y transmitirlos a la base de datos. Probando así el registro de los nodos sensores y el tiempo de monitoreo, habilitando con esto el ahorro de energía de los nodos.

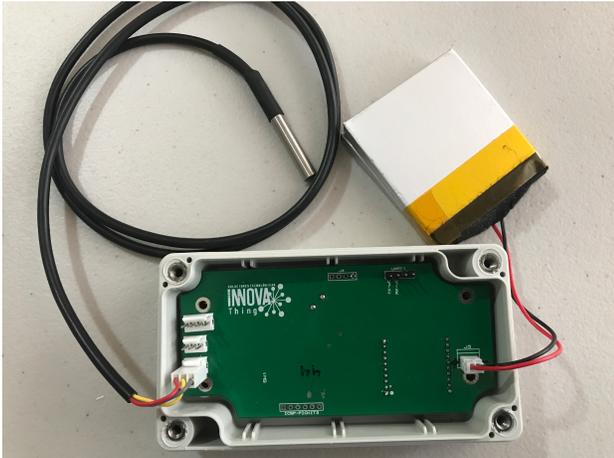


Figura 9.- Nodo prototipo usado en las pruebas de laboratorio.

En el ensayo de rendimiento se recabaron más de 5 mil datos de los diferentes sensores y se registraron en la base de datos del servidor en la nube. La figura 10 muestra un ejemplo de los datos recolectados para la temperatura de uno de los sensores.



Figura 10.- Gráfico de temperatura de un nodo sensor.

En las gráficas generadas por la plataforma se puede consultar los datos por día, semana, mes y año, en cada apartado muestra el promedio de cada uno de los parámetros monitoreados. Además, la página cuenta con apartados para la configuración de los mismos sensores, es decir, se puede modificar el tiempo de monitoreo de acuerdo a las necesidades del usuario (Figura 11).

5. CONCLUSIONES

Internet de las Cosas es ampliamente usado en la conexión de dispositivos y la recolección de información. En este trabajo presentamos *SGreenH-IoT*, una plataforma basada en IoT para monitoreo y gestión de invernaderos y campos de cultivo. *SGreenH-IoT* es una solución completa que incluye el diseño de nodos de bajo costo y consumo energético, protocolos de

comunicación y una aplicación de visualización de datos y control del sistema. La plataforma realiza el monitoreo y transmite toda la información a la nube para su almacenamiento, análisis y activación de alertas que mejoren la producción agrícola.

Los resultados obtenidos en la experimentación mostraron el funcionamiento eficiente del sistema, el porcentaje de pérdida de datos en la transmisión fue nula. Los beneficios para los agricultores obtenidos por el sistema son el acceso en tiempo real de las condiciones del área de cultivo, la reducción en el uso de recursos a través de la aplicación exacta en los tiempos adecuados, contribuyendo así a una producción más sustentable. Actualmente se está trabajando en la seguridad del sistema, aplicando mecanismos de encriptación de datos extremo a extremo.

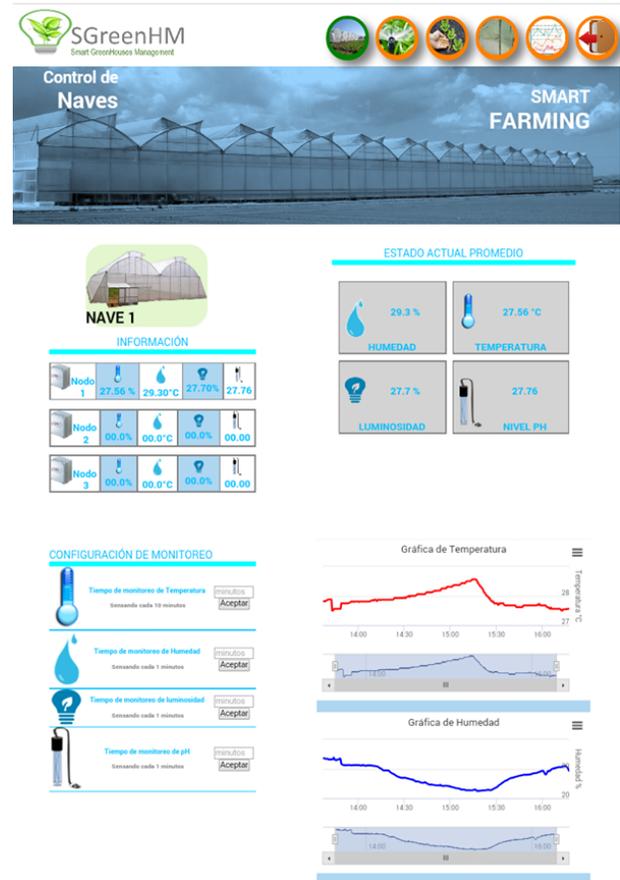


Figura 11.- Plataforma web para gestión de SGreenH-IoT.

6. REFERENCIAS

- [1] Y. Ge, J. A. Thomasson, and R. Sui, "Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review," *Frontiers Earth Sci.*, vol. 5, no. 3, pp. 229–238, 2011.
- [2] A. Khattab, A. Abdelgawad and K. Yelmarthi, "Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture," 2016 28th International Conference on Microelectronics (ICM), Giza, 2016, pp. 201-204. doi: 10.1109/ICM.2016.7847850.
- [3] J. Ma, X. Zhou, S. Li and Z. Li, "Connecting Agriculture to the Internet of Things through Sensor Networks," 2011 International Conference on Internet of Things and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social

- Computing, Dalian, 2011, pp. 184-187. doi: 10.1109/iThings/CPSCCom.2011.32.
- [4] M. Lee, J. Hwang and H. Yoe, "Agricultural Production System Based on IoT," 2013 IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering, Sydney, NSW, 2013, pp. 833-837. doi: 10.1109/CSE.2013.126
- [5] I. Ganchev, Z. Ji and M. O'Droma, "A generic IoT architecture for smart cities," 25th IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies (ISSC 2014/CICT 2014), Limerick, 2014, pp. 196-199. doi: 10.1049/cp.2014.0684.
- [6] T. Guo and W. Zhong, "Design and implementation of the span greenhouse agriculture Internet of Things system," 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FPM), Harbin, 2015, pp. 398-401. doi: 10.1109/FPM.2015.7337148.
- [7] P. P. Jayaraman, D. Palmer, A. Zaslavsky and D. Georgakopoulos, "Do-it-Yourself Digital Agriculture applications with semantically enhanced IoT platform," 2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), Singapore, 2015, pp. 1-6. doi: 10.1109/ISSNIP.2015.7106951.
- [8] JM. De la Rosa, MR. Conesa, R. Domingo, E. Aguayo, N. Falagán, A. Pérez-Pastor, Combined effects of deficit irrigation and crop level on early nectarine trees, *Agricultural Water Management*, Volume 170, 31 May 2016, Pages 120-132, ISSN 0378-3774, <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.012>.
- [9] J. García Morillo, M. Martín, E. Camacho, J.A. Rodríguez Díaz, P. Montesinos, Toward precision irrigation for intensive strawberry cultivation, *Agricultural Water Management*, Volume 151, 31 March 2015, Pages 43-51, ISSN 0378-3774, <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.021>.
- [10] Juan A. López, H. Navarro, F. Soto, N. Pavón, J. Suardiaz, R. Torres, GAIA2: A multifunctional wireless device for enhancing crop management, *Agricultural Water Management*, Volume 151, 31 March 2015, Pages 75-86, ISSN 0378-3774, <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.023>.
- [11] M. Ryu, J. Yun, T. Miao, I. Y. Ahn, S. C. Choi and J. Kim, "Design and implementation of a connected farm for smart farming system," 2015 IEEE SENSORS, Busan, 2015, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICSENS.2015.7370624.
- [12] T. Baranwal, Nitika and P. K. Pateriya, "Development of IoT based smart security and monitoring devices for agriculture," 2016 6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence), Noida, 2016, pp. 597-602. doi: 10.1109/CONFLUENCE.2016.7508189.
- [13] H. Wenting, X. Zhiping, Z. Yang, C. Pei, C. Xiangwei, S.K. Ooi, S. K., "Real-time remote monitoring system for crop water requirement information". *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 7, no. 6, pp. 37-46, 2014.
- [14] A. N. Harun, M. R. M. Kassim, I. Mat and S. S. Ramli, "Precision irrigation using Wireless Sensor Network," 2015 International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Kuala Lumpur, 2015, pp. 71-75. doi: 10.1109/ICSSA.2015.7322513.
- [15] V. V. h. Ram, H. Vishal, S. Dhanalakshmi and P. M. Vidya, "Regulation of water in agriculture field using Internet of Things," 2015 IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), Chennai, 2015, pp. 112-115. doi: 10.1109/TIAR.2015.7358541.
- [16] H. Navarro-Hellín, R. Torres-Sánchez, F. Soto-Valles, C. Albaladejo-Pérez, J.A. López-Riquelme, R. Domingo-Miguel, A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management, *Agricultural Water Management*, Volume 151, 31 March 2015, Pages 64-74, ISSN 0378-3774, <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.022>.
- [17] N. Sales, O. Remédios and A. Arsenio, "Wireless sensor and actuator system for smart irrigation on the cloud," 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Milan, 2015, pp. 693-698. doi: 10.1109/WF-IoT.2015.7389138.
- [18] A. Pesonen, Frederick K.-W. Teye, Ari K. Ronkainen, Markku O. Koistinen, Jere J. Kaivosoja, Pasi F. Suomi, Raimo O. Linkolehto, Cropinfra – An Internet-based service infrastructure to support crop production in future farms, *Biosystems Engineering*, Volume 120, April 2014, Pages 92-101, ISSN 1537-5110, <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.09.005>.
- [19] J.A. López-Riquelme, N. Pavón-Pulido, H. Navarro-Hellín, F. Soto-Valles, R. Torres-Sánchez, A software architecture based on FIWARE cloud for Precision Agriculture, *Agricultural Water Management*, Volume 183, 31 March 2017, Pages 123-135, ISSN 0378-3774, <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.020>.
- [20] Shingo Hokazono, Kiyotada Hayashi, Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: a comparison among three rice production systems in Japan, *Journal of Cleaner Production*, Volume 28, June 2012, Pages 101-112, ISSN 0959-6526, <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.005>.
- [21] Desheng Dash Wu, David L. Olson, John R. Birge, Risk management in cleaner production, *Journal of Cleaner Production*, Volume 53, 15 August 2013, Pages 1-6, ISSN 0959-6526, <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.014>.
- [22] Alireza Khoshroo, Richard Mulwa, Ali Emrouznejad, Behrouz Arabi, A non-parametric Data Envelopment Analysis approach for improving energy efficiency of grape production, *Energy*, Volume 63, 15 December 2013, Pages 189-194, ISSN 0360-5442, <http://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.021>.
- [23] Reza Pahlavan, Mahmoud Omid, Asadollah Akram, Energy use efficiency in greenhouse tomato production in Iran, *Energy*, Volume 36, Issue 12, December 2011, Pages 6714-6719, ISSN 0360-5442, <http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.038>.
- [24] Flávio Issao Kubota, Leandro Cantorski da Rosa, Identification and conception of cleaner production opportunities with the Theory of Inventive Problem Solving, *Journal of Cleaner Production*, Volume 47, May 2013, Pages 199-210, ISSN 0959-6526, <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.059>.
- [25] Ugo Bardi, Toufic El Asmar, Alessandro Lavacchi, Turning electricity into food: the role of renewable energy in the future of agriculture, *Journal of Cleaner Production*, Volume 53, 15 August 2013, Pages 224-231, ISSN 0959-6526, <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.014>.