

## DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES AUTOCONFIGURABLE PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS FÍSICOS EN VIVEROS DE PLANTAS ORNAMENTALES

Cortés Quiroz José Alfredo<sup>1</sup>, Figueroa Millán Patricia Elizabeth<sup>2</sup>, Farías Mendoza Nicandro<sup>2</sup>, Chávez Valdez Ramona Evelia<sup>2</sup>, Cervantes Zambrano Francisco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Maestría en la División de Estudios de Posgrado e Investigación; Tecnológico Nacional de México/I.T. Colima; 28979 Villa de Álvarez, Colima

<sup>2</sup> Docente en la División de Estudios de Posgrado e Investigación; Tecnológico Nacional de México/I.T. Colima.; 28979 Villa de Álvarez, Colima.

E-mail: alfredolesleocortes@gmail.com, patricia.figueroa@colima.tecnm.mx, nfarias@colima.tecnm.mx, echavez@colima.tecnm.mx, francisco.cervantes@colima.tecnm.mx

### RESUMEN

La horticultura ornamental es un sector donde se cultiva gran diversidad de plantas con fines decorativos, las cuales requieren de cuidados específicos para garantizar las condiciones de salud necesarias para su comercialización. Su demanda incrementa año tras año, incentivando el continuo incremento de ejemplares cultivados para su venta, así como su calidad y variedad; lo cual implica la vigilancia, automatización y monitoreo constante de los procesos de producción. En este artículo se presenta el diseño de una red inalámbrica de sensores autoconfigurable para el monitoreo de parámetros como temperatura, humedad y luminosidad en viveros de plantas ornamentales, la cual ha sido diseñada para trabajar con el estándar 6LoWPAN y el protocolo de aplicación CoAP para redes inalámbricas de sensores, empleando la plataforma Texas Instrument LAUNCHXL-CC2650. Esta red simplifica los procesos de sensado, acceso remoto a la información y la escalabilidad de la red mediante características de autoconfiguración.

Palabras Clave: 6lowPan, CoAP, Plantas Ornamentales, Vivero.

### ABSTRACT

Ornamental horticulture is a sector where a great variety of plants are cultivated for decorative purposes, which require specific care to guarantee necessary health conditions for their commercialization. Its demand increases year after year, encouraging quality and variety of specimens grown for sale; which implies the vigilance, automation and constant monitoring of the production processes. This article presents the design of a self-configuring wireless sensor network for monitoring parameters such as temperature, humidity, and luminosity in ornamental plant greenhouses. This sensor network has been designed to work with the 6LoWPAN standard and the CoAP application protocol for wireless sensor networks, using the Texas Instrument LAUNCHXL-CC2650 platform. This network simplifies sensing processes, remote access to information and the scalability of the network through self-configuration features.

Keywords: 6lowPan, CoAP, Ornamental Plants, Vivero.

### 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas con fines ornamentales es una actividad milenaria practicada desde tiempos remotos. En [1] se menciona que entre 1982 y 1989 la superficie sembrada con cultivos ornamentales en México tuvo un incremento del 77%. Mientras que, en 1991 se obtuvo un total de 221 cultivos destinados a

plantas ornamentales producidas en viveros. Del mismo censo se obtuvo un conteo en superficies ocupadas con cultivos ornamentales, de 1,258 ha en viveros y 17,387 ha de campo abierto. Además, como resultado del VIII Censo Agropecuario realizado en 2007, se obtuvo un total de 23,417.47 ha de superficie de viveros e invernaderos [2]. Mientras que, en 2015 de acuerdo con el Atlas Agroalimentario, en México existían 25,814 unidades de producción de agricultura protegida, de las cuales 65% eran invernaderos, 10% macro túneles, 10% micro túnel y 15% casa sombra, techo sombra o pabellón [3]. Por otro lado, para la actualización del marco censal agropecuario 2016 se informó de un total de 979,216.2953 ha en agricultura protegida [4]. En este mismo año, la SAGARPA informó la aprobación de 6,000,450.00 pesos para el sector de la agricultura protegida [5] y el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) anunció que, en 2016 de los tres ciclos productivos, el primavera-verano (PV) aportó 42.7% del valor de la producción de agricultura protegida, el otoño-invierno (OI) 40.8% y perennes (Pnn) 16.5% restante [6]. Por lo tanto, se puede apreciar un crecimiento exponencial de esta actividad en el transcurso de los años.

Actualmente, debido a la demanda de plantas de ornato y a la búsqueda por conseguir ejemplares en óptimas características, los productores tienen que adoptar cada vez mejores medidas de control en sus procesos de producción con la finalidad de seguir en el mercado competitivo y lograr resultados óptimos y de calidad en la producción de plantas ornamentales. Por lo cual, es necesario mantener durante el proceso de producción la vigilancia del entorno ambiental, la correcta gestión del riego y aplicación de agroquímicos, en conjunto con el monitoreo de parámetros como temperatura, humedad, pH, conductividad y salinidad del agua; lo cual, se ha demostrado en [7] y en [8]. Para esto, el personal encargado de la producción necesita constantemente realizar la vigilancia y el monitoreo para todas y cada una de las áreas de cultivo, en cuanto a los parámetros mencionados anteriormente. Esta actividad se realiza generalmente por una sola persona, efectuando mediciones con ayuda de instrumentos de uso dedicado, recolectando

manualmente todas y cada una de las lecturas y anotando los registros en bitácoras físicas. Dependiendo de cada productor, se puede contar con más de un área de cultivo; lo cual, implica un tiempo significativo, incrementando la existencia de errores en las mediciones debido a errores humanos al realizarse el proceso de muestreo de los parámetros mencionados anteriormente de manera manual y en muchas ocasiones por personal no capacitado. Por lo tanto, es importante y necesaria la automatización del muestreo y censo del medio ambiente en los entornos de los invernaderos de plantas ornamentales, con la finalidad de hacer más eficiente el proceso de adquisición y acceso remoto a la información sensada.

Considerando lo anterior, existen diversas soluciones que pretenden atacar la problemática descrita anteriormente. Sin embargo, hasta donde se tiene conocimiento, son pocas las soluciones que se han aplicado directamente en este sector, como se puede observar en la revisión de la literatura. No obstante, a continuación, se describen alguna de estas soluciones con la finalidad de identificar sus limitaciones y áreas de oportunidad.

En [10] se describe un prototipo de red de sensores para el monitoreo de plantas ornamentales, el cual comunica los nodos mediante la tecnología Wifi basada en el estándar IEEE 802.11. Para el desarrollo de esta red se utilizó la tarjeta de desarrollo ESP8266-12 NodeMCU como nodo central, recibiendo y enviando instrucciones a nodos finales usando tarjetas ESP8266-1. Este prototipo es funcional; sin embargo, requiere de un experto al momento de querer escalar la red, es decir, al integrar nuevos nodos a la red puesto que no proponen un mecanismo de adaptación o autoconfiguración que facilite dicha tarea. Por otro lado, en [11], se propone un prototipo de nodo sensor mediante la utilización de transceptores tipo LoRa y un microcontrolador Arduino para medir parámetros como temperatura, humedad, luminosidad y dióxido de carbono; el nodo a su vez es coordinado y administrado por un sistema inteligente externo, dejándole toda la tarea de gestión y configuración a un solo agente inteligente. Este prototipo de red facilita la administración y gestión de envío de los datos recabados; sin embargo, esta red carece de protocolos para el enrutamiento de paquetes, haciéndola dependiente del único administrador.

En [12] se describe un prototipo de red inteligente para invernaderos, basado en el microcontrolador STM32F103 integrado con un transceptor tipo LoRa para la comunicación a distancia. Éste envía datos a un computador, el cual cuenta con un software para la visualización de la información sensada. Este prototipo pese a ser funcional de forma local, no cumple con la función de poder acceder y visualizar remotamente a la información sensada por la red de sensores; por lo cual, es

necesario estar en el sitio donde se encuentra el nodo coordinador. Además, carece de mecanismos que faciliten la adaptación y configuración en caso de quitar o añadir un nodo más a la red. Otro prototipo de red para Invernaderos inteligente se describe en [13], para el cual hicieron uso de la plataforma Friendly ARM Micro2440 como nodo coordinador, en la cual se almacenan y visualizan los datos censados gracias a la pantalla táctil que ésta incorpora; en la comunicación con nodos finales que provén de datos, utilizaron transceptores tipo ZigBee estándar IEEE 802.15.4. Al igual que el proyecto mencionado anteriormente, los datos censados solo quedan en una red local y carece de protocolos propios de ruteo. Por el contrario, en [14] se describe un prototipo de red, en la cual censan la fluorescencia de clorofila en plantas; para dicha red utilizaron el microcontrolador JN516x, el cual cuenta con un transceptor perteneciente al estándar IEEE 802.15.4 que en conjunto al protocolo JenNet-IP les permite tener un direccionamiento de red IPV6 en cada nodo. Este prototipo de red cumple con la auto-adaptabilidad y cuenta con protocolos de ruteo; sin embargo, esta solución no está del todo completa puesto que solo llega a un servidor local.

Por último, con la intención de solventar la problemática descrita anteriormente, la sociedad de producción rural de responsabilidad limitada de capital variable Ornamentales de Colima (ORNACOL) logró la construcción de una red de sensores descrita en [9], la cual está constituida por un nodo móvil y una serie de nodos fijos para la medición de parámetros involucrados en la producción de plantas ornamentales. Sin embargo, se configuró la red para requerir la intervención de un experto para el escalamiento de la red, acarreado con ello costos adicionales; situación que preocupa en cierta parte a los productores. Por otro lado, para el despliegue de la red de sensores se empleó la tecnología ZigBee. Esta tecnología basada en el estándar IEEE 802.15.4 proporciona transmisión inalámbrica de datos con el propósito de comunicar pequeños dispositivos sobre enlaces de radio [15]. Emplea la capa física y capa de enlace al medio de (MAC, por sus siglas en inglés) del estándar IEEE 802.15.4 con una definición privada de las capas de red, conocida como capa ZigBee, y de las capas de aplicación, dificultando con esto la comunicación directa con otros protocolos de Internet, requiriendo de un Gateway que permite la interconexión de la red inalámbrica de sensores con el Internet. Este gateway responde en nombre de los nodos sensores que conforman la red; por lo cual, se rompe el paradigma end-to-end de Internet.

Por lo tanto, en este trabajo de investigación se propone el diseño y futura implementación de una red inalámbrica de sensores autoconfigurable para la empresa ORNACOL, capaz de adaptarse al entorno en términos de auto-configuración de nodos y reorganización de la red, proporcionando un

mecanismo automatizado de escalabilidad de la red, minimizando los recursos operativos y de mantenimiento de ésta. Esta red inalámbrica de sensores se diseñó con base en el estándar 6LoWPAN y el protocolo de comunicación CoAP, permitiendo además de las características de autoconfiguración, el acceso remoto a la información censada mediante el direccionamiento IPv6, permitiendo una comunicación end-to-end con los nodos de sensado sin necesidad de emplear un nodo concentrador que retransmite la información de los nodos y que responde en nombre de éstos, facilitando y apoyando de esta forma los procesos de producción.

## 2. MATERIALES Y EQUIPOS

Los elementos que conforman la red de sensores autoconfigurable propuesta se detallan en la Tabla 1. Los nodos estarán interconectados con 6LoWPan que es una Pila de Protocolos basado en el estándar IEEE 802.15.4, usando el protocolo de aplicación CoAP para el envío de los datos.

Tabla 1 Descripciones de Material

Nombre	Descripción
Ruteador de Frontera	LAUNCHXL-CC2650 + Raspberry Pi Zero W
Nodo	LAUNCHXL-CC2650 + Sensores.
Sensores	GY-21, FC-28, LDR y EZO™ pH Circuit

## 3. MÉTODOS EXPERIMENTALES

Para el presente proyecto se escogió una metodología que se inspira en el método de desarrollo en cascada, adaptando éste al desarrollo de Redes Inalámbricas de Sensores enfocadas a procesos Agrícolas [16], la cual se divide en siete fases (ver Figura 1).

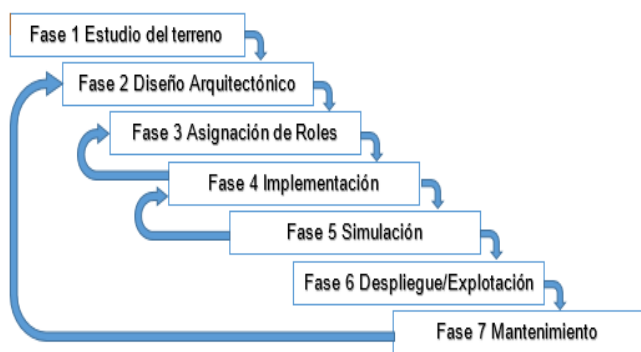


Figura 1 Metodología de Redes de Sensores para Procesos Agrícolas. Fuente: Adoptada de [16].

Como se puede observar en la Figura 1, la primera fase consiste en el estudio de terreno donde la red de sensores será desplegada; la segunda fase consiste en la definición del diseño arquitectónico de la red de sensores; la tercera fase aborda la especificación de los roles que cumplirá cada uno de los nodos que conforman la red; la cuarta fase describe la implementación de la funcionalidad y aplicación que cada nodo sensor ejecutará; la quinta fase permite validar mediante la simulación el despliegue de la red de sensores; la sexta fase especifica el despliegue físico de la red de sensores y la explotación de los recursos sensados; finalmente, la séptima fase permite especificar las medidas de mantenimiento de la red de sensores. A continuación, se precisa cada una de estas fases

### 3.1 Estudio del Terreno.

En la primera fase, a través de una investigación de campo y una entrevista con los productores que conforman la sociedad de producción rural ORNACOL, el caso de estudio de esta investigación, se exploró el área destinada para la producción de plantas ornamentales del vivero Massangeana (ver Figura 2), uno de los principales productores de esta sociedad.



Figura 2 Terreno del vivero Massangeana. Fuente: Google Maps

Como se puede observar en la Figura 2, el vivero Massangeana, ubicado en el libramiento Colima-Manzanillo KM 1.1 de la ciudad de Colima, cuenta con siete áreas para la producción de plantas ornamentales tanto de sol como de sombra, señaladas con puntos en la figura. Las actividades realizadas en esta fase permitieron identificar la distribución de los nodos de sensado con la finalidad de especificar la topología de red a utilizar para el despliegue de la red de sensores.

### 3.2 Diseño Arquitectónico.

Tomando como base las características del terreno y de las áreas de producción del vivero, en esta fase se definió la topología y arquitectura de la red de sensores (ver Figura 3).

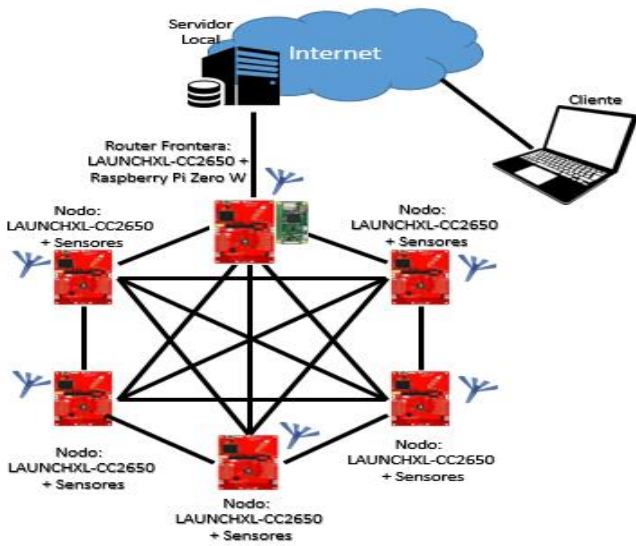


Figura 3 Topología de la Red.

La arquitectura de red propuesta, como se ilustra en la Figura 3, sigue un modelo cliente-servidor. Cada uno de los nodos sensores que conforman la red de sensores autoconfigurable se desempeñan como un servidor web embebido que, mediante la implementación del estándar 6LoWPAN y el sistema operativo embebido Contiki-NG, incluyen capacidades de sensado del ambiente y de ruteo de paquetes. Estos nodos están configurados en una topología en malla, proporcionando un escenario multisalto en donde cada nodo tiene su propia dirección IPv6, permitiendo que cada uno de los nodos respondan de manera directa a las solicitudes de un cliente en el Internet siguiendo el paradigma end-to-end, sin la necesidad de incluir un Gateway que responda en nombre de los nodos sensores. El ruteo de los paquetes se logra a través del protocolo de ruteo RPL. Por otro lado, las peticiones y respuestas hacia y desde los nodos sensores, respectivamente, se logran a través del protocolo estándar de aplicación CoAP para redes inalámbricas de sensores, el cual es un protocolo de aplicación similar a HTTP para dispositivos con recursos limitados y el cual se especifica en [17]. Para esto, el router frontera distribuye el prefijo de la red al resto de los nodos, prefijo que deben utilizar para generar sus direcciones IPv6.

La autoconfiguración de la red se logra a través de un mecanismo de bootstrapping para 6LoWPAN. El bootstrapping es un mecanismo que permite asociar a un nodo dentro de una red específica con o sin una mínima intervención de un humano, permitiendo que éste se conecte a la red deseada [18]. Cuando un nodo quiere formar parte de la red, debe solicitar al router frontera información de la red mediante un mensaje de solicitud de router (RS, por sus siglas en inglés). Este mensaje

es respondido por un mensaje de anuncio de router (RA, por sus siglas en inglés), el cual contiene el prefijo de la red. Posteriormente el nodo solicita un proceso de registro mediante un mensaje de registro de nodo (NR, por sus siglas en inglés), en el cual se indicará la dirección de red con la que se identificará generada por el método de autoconfiguración. El router frontera lleva a cabo un mecanismo de comprobación de duplicidad en direcciones, si la dirección no existe aprueba la incorporación del nodo a la red respondiendo con un mensaje de confirmación. Este proceso de bootstrapping se logra a través del descubrimiento de vecinos de 6LoWPAN, conocido como 6LOWPAN-ND [19].

Por otro lado, desde el punto de vista de hardware, los nodos sensores se implementarán usando la plataforma de hardware LAUNCHXL-CC2650 de Texas Instrument, integrando un módulo sensor GY-21, Higrómetro FC-28, EZO™ pH Circuit con sonda punta de lanza y una resistencia fotosensible. Mientras que, el router frontera se conforma por un LAUNCHXL-CC2650 y una Raspberry Pi Zero W.

### 3.3 Asignación de Roles.

En este apartado se detalla la función o rol de cada una de las entidades o nodos que componen la red (ver Tabla 2).

Tabla 2 Roles de las entidades o nodos de la red de sensores.

Elemento	Rol
LAUNCHXL-CC2650 + Sensores (Nodo sensor)	La plataforma contiene un transmisor basado en el estándar IEEE 802.15.4. Integrando los sensores definidos anteriormente, se logra un dispositivo de sensado de humedad, temperatura y presión atmosférica. Las capacidades de ruteo se logran mediante el direccionamiento IPv6 empleando el estándar 6LoWPAN. Al final, el dispositivo actúa como un servidor web embebido.
LAUNCHXL-CC2650 + Raspberry Pi Zero W (Router de Frontera)	Es el encargado de distribuir el prefijo de red que el resto de los nodos deberán usar para generar sus direcciones IPv6. Permite la interconexión de la red de sensores con le Internet adaptando y comprimiendo los paquetes IPv6 para encajar en la trama de IEEE 802.15.4.



### 3.4 Implementación.

Actualmente se encuentra en desarrollo esta fase, lo cual permitirá la creación del código que será el firmware para los nodos, mediante el Sistema Operativo Contiki y el uso de hilos ligeros con el lenguaje de programación C, ya que éste provee las librerías necesarias para establecer los mecanismos de sensado, adquisición y transmisión de los datos a través de la pila de protocolos 6LoWPAN.

### 3.5 Simulación.

La simulación de la red propuesta, con la finalidad de validar su configuración y funcionalidad se logrará mediante el simulador Cooja del sistema operativo Contiki-NG, el cual permitirá evaluar el comportamiento de las entidades de la red. Además, éste proporciona la facilidad de emular la plataforma de hardware, permitiendo con esto realizar una implementación más eficiente de las funcionales de los elementos de la red de manera física en la plataforma de hardware.

### 3.6 Despliegue/Explotación.

Después de validar la funcionalidad de la red mediante la simulación, se procederá a probar y evaluar en físico los resultados del despliegue y explotación de la red. Para lo cual, se dividirá en 3 partes: 1) Armado y grabado del firmware simulado en los nodos sensores y en el router frontera; 2) colocación de los nodos en las áreas destinadas y 3) recolección y evaluación de los datos proporcionados de la red puesta en marcha.

### 3.7 Mantenimiento.

En esta fase se realizará un seguimiento del funcionamiento de la red para identificar posibles anomalías. Si se detecta una anomalía en la red se documentará para que sea revisada, documentada y solucionada. Las tareas propuestas para el mantenimiento se las listadas a continuación: verificar fuente de alimentación; corroborar los datos proporcionados por el sensor mediante un instrumento manual, verificar la conectividad de los sensores en la red, verificar problemas de hardware, entre otros. Se ha definido que tales tareas se deberán de hacer al menos 1 vez por mes, con la finalidad de que la red siga operando con normalidad y dentro de los parámetros esperados.

## 4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al término de este trabajo se contará con una red de sensores autoconfigurable; la cual, permitirá: 1) medir parámetros físicos relativos al entorno ambiental en la producción de plantas de ornato como temperatura, humedad y luminosidad; 2) comunicación remota a través de Internet; 3) autoconfiguración de la red de sensores cuando se agrega un nuevo nodo a la red, garantizando una mínima o nula intervención del humano para la administración de la red; 4) comunicación end to end gracias

al direccionamiento IPv6, sin la necesidad de contar con un Gateway que responda a nombre de los nodos dentro de la red de sensores.

Por lo tanto, como resultado se logró obtener un modelo conceptual del despliegue de la red de sensores y su interacción con un sistema web, el cual está fuera del alcance de este proyecto. Este modelo conceptual permite llevar a cabo el desarrollo de la propuesta de solución (ver Figura 4).

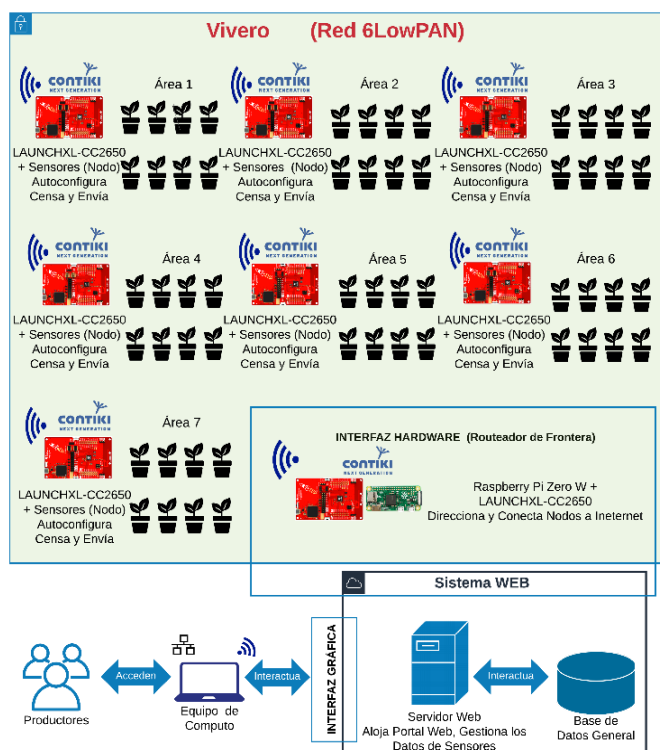


Figura 4 Red Autoconfigurable de Sensores.

Como se puede observar en la Figura 4, el modelo conceptual resultante permitirá implementar una solución integral para el monitoreo y vigilancia de la producción en viveros de plantas ornamentales, ofreciendo un mecanismo de automatización e inclusión de tecnologías en un sector productivo que generalmente carece de éstas.

## 5 CONCLUSIONES

En este artículo se presenta el diseño de una red inalámbrica de sensores autoconfigurable para el monitoreo del entorno ambiental en viveros de plantas ornamentales. Esta red inalámbrica ha sido propuesta para proporcionar una solución autoconfigurable que requiere de la mínima o nula intervención de un humano, ante los posibles cambios de esta red; además, del monitoreo óptimo de los parámetros físicos que ayuden a la toma de decisiones en cuanto el riego y aplicación de agroquímicos, permitiendo actuar asertivamente en el uso de

éstos; dado que un mal riego o exceso en la aplicación de agroquímicos, perjudicaría la producción de plantas ornamentales, ocasionando un cultivo de baja calidad y posibles pérdidas parciales a totales. Por lo tanto, la propuesta de solución descrita en este artículo permitirá mejorar el monitoreo de las condiciones de la producción en plantas ornamentales, la reducción de costos subyacentes a la adquisición de la información de los parámetros involucrados en la producción y por ende una mejor rentabilidad de la producción.

## 6 TRABAJO A FUTURO

Como trabajo futuro se trabajará en la validación de la red propuesta mediante la simulación con el simulador Cooja, el cual, además de simular el comportamiento de la red, su topología y arquitectura, permite emular la plataforma de hardware para redes de sensores a utilizar. Así como también las pruebas de interacción con el servidor.

## 7 AGRADECIMIENTOS

En especial al CONACYT por mantener el Programa Nacional de Posgrado de Calidad e incentivar la formación en maestrías y doctorados, mediante el programa de Becas; al Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Colima por ocuparse de la formación de capital humano que brinde soluciones informáticas al sector productivo, gubernamental y de servicios en la región; a la Dra. Patricia Elizabeth Figueroa Millán quien asesora cada avance del presente trabajo.

## 8 REFERENCIAS

- [1] *La horticultura ornamental en México*. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1998, pp. 3,7,19,65 [En línea]. Disponible en: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825117788/702825117788.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825117788/702825117788.pdf) [Accedido: 24-mayo-2020]
- [2] *Unidades de producción con superficie agrícola, vivero o invernadero según destino de la producción*, INEGI, Aguascalientes, Ags. 2009: [En línea]. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/cagf/2007/tabulados/Tabulado\\_VIII\\_CAGyF\\_26.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/cagf/2007/tabulados/Tabulado_VIII_CAGyF_26.pdf) [Accedido: 24- mayo -2020].
- [3] Número de terrenos y superficie total principalmente con actividad agrícola según tipo de agricultura por entidad federativa, municipio y estrato de superficie, INEGI, 2016. [En línea]. Disponible: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/amca/2016/tabulados/amca\\_2016\\_06.xlsx](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/amca/2016/tabulados/amca_2016_06.xlsx) [Accedido: 24-mayo-2020].
- [4] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, "En México existen 25,814 unidades de producción de agricultura protegida", Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.gob.mx/siap/articulos/en-mexico-existen-25-814-unidades-de-produccion-de-agricultura-protegida?idiom=es>. [Accedido: 24- mayo -2020].
- [5] SADER Delegación Colima, "Más de 6 mdp para Agricultura Protegida: SAGARPA" Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura%7Ccolima/articulos/mas-de-6-mdp-para-agricultura-protegida-sagarpa>. [Accedido: 24-mayo-2020].
- [6] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, "En México existen 25,814 unidades de producción de agricultura protegida." Servicio de

- Información Agroalimentaria y Pesquera, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/en-mexico-existen-25-814-unidades-de-produccion-de-agricultura-protegida?idiom=es>. [Accedido: 24- mayo -2020].
- [7] R. Cabrera, "PROPIEDADES, USO Y MANEJO DE SUSTRATOS DE CULTIVO PARA LA PRODUCCION DE PLANTAS EN MACETA", *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol., no. 01, 1999. doi: 10.5154/r.rchsh.1998.03.025. [Accedido: 24-mayo-2020].
  - [8] L. Barbaro, M. Karlanian and D. Mata, *Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*, 1ra ed. Buenos Aires Argentina, 2018. [En Línea]. Disponible en: [https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_electrica\\_ce\\_en\\_los\\_sustratos\\_para\\_plantas.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_electrica_ce_en_los_sustratos_para_plantas.pdf) [Accedido: 24-mayo-2020].
  - [9] R. Delgadillo Gaytan, *Desarrollo de una Red de Sensores para el Monitoreo en Ambiente Web de Parámetros Físico-Químicos en Invernaderos de Plantas Ornamentales*, tesis de maestría, I.T.C. Villa de Álvarez, Colima [En línea]. Disponible en: <https://dspace.itcolima.edu.mx/bitstream/handle/123456789/1495/52148%20Rodrigo%20Delgadillo%20Gaytan..pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Accedido: 24- mayo -2020].
  - [10] Banda-Chávez, J., Serrano-Rubio, J., Manjarrez-Carrillo, A., Rodríguez-Vidal, L. & Herrera-Guzmán, R., "Intelligent Wireless Sensor Network for Ornamental Plant Care". *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2018. doi: 10.1109/IECON.2018.8591644 [Accedido: 24- mayo -2020].
  - [11] Ma, Y. & Chen, J., "Toward intelligent agriculture service platform with lora-based wireless sensor network". *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, 2018. doi: 10.1109/ICASI.2018.8394568 [Accedido: 24- mayo -2020].
  - [12] Jing, L. & Wei, Y., "Intelligent Agriculture System Based on LoRa and Qt Technology". *2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2019. doi 10.1109/CCDC.2019.8833476 [Accedido: 24- Mayo -2020].
  - [13] Chen, G., Wang, Z. & Shang, X., "The Design of Greenhouse Environment Monitoring System Based on ZigBee". *Advanced Materials Research*, vol. 989-994, pp. 3390-3393, 2014. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.989-994.3390 [Accedido: 6-junio-2020].
  - [14] V. Romanov, I. Galelyuka and Y. Sarakhan, "Wireless sensor networks in agriculture", *2015 IEEE Seventh International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*, 2015. doi: 10.1109/intelcis.2015.7397200 [Accedido: 6 - junio - 2020].
  - [15] I. ALAOUI ISMAILI, A. Azyat, N. Raissouni, N. Ben Achhab, A. Chahboun and M. Lahraoua, "Comparative Study of ZigBee and 6LoWPAN Protocols: Review", Proceedings of the Third International Conference on Computing and Wireless Communication Systems, ICCWCS 2019, April 24-25, 2019, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University -Kénitra- Morocco, 2019. Available: 10.4108/eai.24-4-2019.2284215 [Accedido 1- julio-2020].
  - [16] Díaz, S., Pérez, J., Mateos, A., Marinescu, M., & Guerra, B., "A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks". *Computers And Electronics In Agriculture*, vol. 76, no. 2, pp 252-265. doi: 10.1016/j.compag.2011.02.004 [Accedido: 6-junio-2020].
  - [17] Z. Shelby, K. Hartke and C. Bormann, "RFC 7252 - The Constrained Application Protocol (CoAP)", *Tools.ietf.org*, 2014. [Online]. doi: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>. [Accedido: 1- Julio- 2020].
  - [18] H. Cha, K. Kim and S. Yoo, "LBP", *Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication - ICUIMC '11*, 2011. doi: 10.1145/1968613.1968679 [Accedido 1-julio-2020].
  - [19] Z. Shelby and C. Bormann, *6LoWPAN*. Chichester: Wiley, 2009, pp. 20,63.