

DISEÑO ARQUITECTURAL DE UNA PLATAFORMA IOT PARA LA MONITORIZACIÓN AMBIENTAL APLICADA EN VIVEROS DE PLANTAS DE ORNATO

ARCHITECTURAL DESIGN OF AN IOT PLATFORM FOR ENVIRONMENTAL MONITORING APPLIED IN ORNAMENTAL PLANT GREENHOUSES

Jaime Osvaldo González Cárdenas

Estudiante de Maestría del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Nacional de México/I.T. Colima. (México).

E-mail: valdoc7@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2890-010X>

Patricia Elizabeth Figueroa Millán

Profesor adjunto de la División de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México/I.T. Colima, México).

E-mail: patricia.figueroa@colima.tecnm.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7562-7578>

Ismael Amezcua Valdovinos

Profesor adjunto de la Facultad de Telemática/Universidad de Colima, (México).

E-mail: ismaelamezcua@ucol.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2661-513X>

J. Reyes Benavides Delgado

Profesor adjunto de la División de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México/I.T. Colima, México).

E-mail: rbenavides@colima.tecnm.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6190-5933>

Recepción: 30/08/2021 **Aceptación:** 19/10/2021 **Publicación:** 29/03/2022

Citación sugerida:

Osvaldo, J., Figueroa, P. E., Amezcua, I., y Benavides, J. R. (2022). Diseño arquitectural de una plataforma IoT para la monitorización ambiental aplicada en viveros de plantas de Ornato. *3C TIC. Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, 11(1), 223-249. <https://doi.org/10.17993/3ctic.2022.111.223-249>

RESUMEN

El uso de las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) está beneficiando a un número cada vez mayor de productores y organizaciones agrícolas en sus procesos de producción, mejorando su eficacia a largo plazo y contribuyendo al desarrollo sostenible, pues se estima que para 2023 estarán cerca de 12 millones de sensores agrícolas en uso globalmente. Por ello, los agricultores de diferentes sectores agrícolas, incluyendo el hortícola ornamental, están apostando por la pronta adopción del IoT para mejorar la eficiencia en su trabajo diario; aun cuando, en países subdesarrollados, los problemas para adquirir, acceder y utilizar las nuevas Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) han dificultado esta tarea. En este artículo se describe el diseño arquitectural de una plataforma IoT, utilizada para la monitorización ambiental en viveros de plantas de ornato, permitiendo el almacenamiento y visualización dinámica de los datos sensados en la nube. La metodología en espiral para el desarrollo de prototipos fundamenta el diseño arquitectural presentado. Diseño que proporciona una solución innovadora al integrar un nodo portable que utiliza tecnología WiFi y una red de sensores estática basada en el estándar 6LoWPAN para el sensado, recolección y visualización de datos. Como resultados, este diseño contribuirá a establecer prácticas de agricultura inteligente para mejorar la calidad, productividad, rentabilidad y sustentabilidad en la producción de plantas ornamentales, así como a ahorrar tiempo y dinero en las empresas y productores de este sector al disminuir el esfuerzo laboral y riesgo de errores humanos en la recopilación de datos.

PALABRAS CLAVE

Desarrollo sostenible, Diseño arquitectural, Internet de las cosas, Plantas ornamentales, WiFi, 6LoWPAN, Almacenamiento en la nube.

ABSTRACT

The use of Internet of Things (IoT) applications is benefiting an increasing number of agricultural producers and organizations in their production processes, improving their long-term efficiency and contributing to sustainable development, as it is estimated that by 2023 there will be close to 12 million agricultural sensors in use globally. Therefore, farmers from different agricultural sectors, including ornamental horticulture, are betting on the early adoption of IoT to improve efficiency in their daily work; even though, in underdeveloped countries, problems in acquiring, accessing and using new Information and Communication Technologies (ICT) have made this task difficult. This paper describes the architectural design of an IoT platform, used for environmental monitoring in ornamental plant greenhouses, allowing the storage and dynamic visualization of the sensed data in the cloud. The spiral methodology for the development of prototypes underpins the architectural design presented. The design provides an innovative solution by integrating a portable node using Wi-Fi technology and a static sensor network based on the 6LoWPAN standard for sensing, data collection and visualization. As a result, this design will contribute to establish smart agriculture practices to improve quality, productivity, profitability and sustainability in the production of ornamental plants, as well as saving time and money for companies and producers in this sector by reducing the labor effort and risk of human error in data collection.

KEYWORDS

Sustainable development, Architectural design, Internet of things, Ornamental plants, Wi-Fi, 6LoWPAN, Cloud storage.

1. INTRODUCCIÓN

Los avances en la electrónica y en los sistemas de comunicación, especialmente en la comunicación inalámbrica, han favorecido la movilidad de los dispositivos y los servicios ubicuos con el fin de permitir el acceso a los recursos desde cualquier lugar, en cualquier dispositivo y en cualquier momento, impulsando la necesidad de interconectar el mundo físico con el cibernético, promoviendo la aparición de los Sistemas Ciberfísicos (CPS) y, consecuentemente, del IoT, donde la utilidad de los dispositivos no se limita a conectar a los usuarios a Internet, sino a desempeñar un papel activo dentro del mundo ciberfísico, gracias a sus capacidades de mejora (Singh *et al.*, 2019).

El IoT es reconocido como un cambio de paradigma en donde todas las “cosas” están conectadas a éste, gracias a la integración de múltiples dominios como redes de computadoras, Redes Inalámbricas de Sensores (WSN), Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), Informática distribuida y ubicua, análisis y procesamiento de datos, Big Data, Inteligencia Artificial (IA) y aprendizaje automático, entre otros (Singh *et al.*, 2019); lo anterior, permite que los objetos puedan recolectar, procesar y comunicar datos sin necesidad de la intervención humana. Por consiguiente, se ha presentado un crecimiento exponencial del IoT, debido a la miniaturización del hardware, la fabricación de sensores de bajo coste, sistemas integrados y actuadores, especificación y estandarización de protocolos de comunicación; lo cual, ha convertido al IoT de una idea abstracta a una realidad que incrementa significativamente el despliegue de sensores (Pattar *et al.*, 2018). Actualmente, el IoT es considerado un factor vital en la vida diaria, ofreciendo múltiples soluciones en diferentes ámbitos como en: el área de la salud, el comercio minorista, el tráfico, la seguridad, los hogares y ciudades inteligentes, la agricultura inteligente y de precisión, entre otros (Farooq *et al.*, 2020), permitiendo el desarrollo de una infraestructura digital con potencial impacto en el desarrollo sostenible a nivel global.

En el entorno agrícola, el IoT es utilizado principalmente para lidiar con la recolección distribuida de datos de los entornos agrarios, dirigiendo a los agricultores con información dinámica de los campos de cultivo; lo cual, resulta en un aumento de la productividad y el ahorro en las materias primas, insumos

y recursos naturales (Almalki *et al.*, 2021). Su aplicación en este sector puede ayudar a garantizar una demanda suficiente en la producción, así como aumentar la eficiencia de los procesos de producción agrícola en general (Alreshidi, 2019), mejorar la sustentabilidad y la seguridad alimentaria, acorde con el estudio presentado en (García *et al.*, 2019), contribuyendo con los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (UN General Assembly, 2015). En la Tabla 1 se presentan los principales objetivos en los que impacta el IoT.

Tabla 1. Alcance e impacto del IoT con respecto a los Objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Objetivos de la Agenda 2030	Impacto del IoT
No.1: Poner fin a la pobreza	Reducción potencial de los daños en cultivos y mejora de la productividad a través de la monitorización del entorno y de las condiciones del suelo; reducción de los gastos y costos de producción a través de la optimización de los ingresos; incremento de los cultivos mediante la mejora de los procesos de toma de decisiones a través de datos precisos; mejora de la productividad y el rendimiento de los cultivos a través de los tratamientos y pronósticos meteorológicos.
No.2: Agua limpia y saneamiento	Administración y monitoreo eficiente del consumo hídrico.
No.12: Producción y consumo responsable	Reducir la huella ecológica significativa de las actividades agrícolas en cuanto al consumo hídrico.

Fuente: UN General Assembly, 2015.

Como se puede observar en la Tabla 1, la aplicación del IoT en la agricultura puede contribuir en el alcance de los objetivos de desarrollo sostenible a nivel local, regional, nacional y global, ya que ésta conforma múltiples aplicaciones, principalmente de monitorización, control y seguimiento, que consideran varios tipos de variables como el aire, temperatura, humedad, suelo, agua, fertilización, control de plagas, control de iluminación y seguimiento de la ubicación (Farooq *et al.*, 2020). Así pues, la agricultura inteligente sostenible tiene como objetivo mantener la calidad del suelo, reducir la erosión del suelo, ahorro de los recursos hídricos y se ha aplicado al cultivo para preservar los recursos naturales sin comprometer la calidad de los requerimientos fundamentales, que además mitigan los problemas

relacionados con malezas, enfermedades de las plantas, insectos y otras plagas (Zikria *et al.*, 2021). En este sector, la recopilación de datos se realiza mediante el uso de sensores y otros dispositivos IoT para su almacenamiento mediante Bases de Datos (BBDD) y su posterior procesamiento, análisis y adquisición de conocimiento, apoyando los procesos de toma de decisiones para aumentar la producción de los cultivos mediante un autoanálisis sobre éstos y su entorno (Mishra *et al.*, 2021). Su uso da lugar a avances que pueden modificar drásticamente los actuales procedimientos de producción en la agricultura (Alreshidi, 2019).

Las principales aplicaciones de IoT en la agricultura se dan en la agricultura inteligente y de precisión, la ganadería e invernaderos; los cuales, se agrupan en diferentes dominios de monitorización (Farooq *et al.*, 2020). Las funciones y características de la integración de la agricultura con el IoT son: sensado remoto, interfaces de usuario basadas en Internet, irrigación y fertilización específica al sitio, vehículos autónomos para la agricultura, sensado de cultivos y suelo en el campo, entre otros (Hassan, 2018).

Considerando lo anterior, cualquier campo de la agricultura puede beneficiarse de su integración con el IoT, como por ejemplo la horticultura; la cual, es un subcampo de la agricultura, que se centra en las plantas utilizadas por el ser humano para medicina, alimentación y plantas decorativas (Dinesh *et al.*, 2021), formando parte ampliamente de la industria agrícola, desempeñando actividades agrícolas dentro de los invernaderos, como el cultivo de frutas, verduras y plantas ornamentales. En México, la producción de plantas ornamentales se desarrolla al aire libre, con malla sombra, con macrotunel y en invernaderos (Agroproductores, 2019).

Por tanto, en la horticultura, el IoT es especialmente importante para optimizar los métodos de cultivo, ya que los dispositivos IoT pueden medir la temperatura del aire, la humedad del aire y del suelo, y los flujos de savia de los cultivos (De Pricëlle *et al.*, 2020).

No obstante, el IoT requiere de la integración de dispositivos heterogéneos para proporcionar una infraestructura ubicua y robusta en donde todo se conecta mediante protocolos de comunicación basados

en tecnologías heterogéneas para la interconexión, interoperabilidad e intercambio de información entre dispositivos y aplicaciones en el Internet, independientemente del sector de aplicación. Características de heterogeneidad que, generalmente, provocan que los despliegues de soluciones IoT sean complejos y costosos.

Actualmente, se han desarrollado algunas soluciones que buscan hacer más eficientes los procesos de producción agrícola mediante aplicaciones de IoT. Entre ellos se encuentra el propuesto por Gómez *et al* (2017), quienes realizaron un sistema IoT para el monitoreo de cultivos protegidos con la capacidad de recolectar información de parámetros relacionados con el desarrollo y crecimiento de los cultivos como humedad y temperatura. Para su elaboración utilizaron el protocolo MQTT empleando Paho un cliente de Python, así como un visualizador web para mostrar la información y capturar alertas relacionadas con el cultivo.

Por otro lado, Flores (2017) realizó un sistema de control difuso en invernaderos de plantas ornamentales en donde sensaba temperatura, pH, humedad y CE. Utilizaron un sistema tipo Mamdani con la herramienta jFuzzyLogic y el sensado se realizó mediante ZigBee, un servidor y un panel de monitoreo web obteniendo tiempos cortos respecto al sensado. Este sistema al utilizar tecnología privada como ZigBee no permite la interoperabilidad directa con el Internet, al romperse el paradigma end-to-end, requiriendo una traducción entre protocolos de comunicación.

Además, Terrones (2018) presenta un sistema web para monitorear variables como temperatura, humedad, salinidad y CE en invernaderos de plantas ornamentales. Para implementarlo se utilizó una Raspberry y un Arduino en conjunto con tecnologías ZigBee y una página web desarrollada con PHP y MySQL para el almacenamiento y visualización de los datos. Entre las limitantes encontradas se aprecia que únicamente utilizaron un nodo para realizar el sensado y se utilizó la tecnología ZigBee la cual agrega complejidad en la interoperabilidad con otros sistemas y dispositivos de Internet.

Núñez-Agurto *et al* (2020) proponen una plataforma de bajo costo basado en IoT para Agricultura Inteligente mediante la implementación de una solución de hardware y software de bajo costo, permitiendo almacenar y analizar datos ambientales de los cultivos de manera centralizada y remota, para posteriormente realizar pronósticos con una mayor precisión en indicadores ambientales como humedad y temperatura. Para esto se utilizaron microcontroladores NodeMCU ESP8266, sensores de temperatura/humedad AM2302, sensores de lluvia MH-RD y se desarrolló un panel de control para analizar los datos en tiempo real utilizando la herramienta node-red y se usó una conexión WiFi por medio del protocolo MQTT. Los datos obtenidos tuvieron una mayor precisión en comparación de un termohigrómetro y de la aplicación de Google Weather. Entre las limitaciones se aprecia que los datos que se recopilan se guardan en un servidor local, por lo que los datos no se encuentran en la nube y no se pueden acceder de manera ubicua.

Por otra parte, Guerrero *et al* (2017) presentan una plataforma IoT de bajo costo y consumo energético para la monitorización de campos de cultivo e invernaderos. Las variables consideradas fueron humedad y temperatura. El sistema fue desarrollado utilizando un nodo frontera con una Raspberry Pi 3 y nodos sensores con microcontroladores PIC18LF46K22. La comunicación se realizó con el protocolo ZigBee y tecnología celular, visualizando los datos mediante una aplicación web. Entre las limitaciones de este proyecto se encuentran que utilizan un protocolo de comunicación desarrollado por ellos mismos a nivel de aplicación, omitiendo la utilización de un protocolo estándar.

Como se puede observar, existen diversas soluciones IoT para diversos contextos en torno al sector agrícola; soluciones que emplean tecnologías de red inalámbrica para redes de sensores pero que carecen de características de autoconfiguración y adaptación, así como de la integración con otras tecnologías como WiFi en el contexto en el que se desarrollan.

Considerando lo anterior, en este artículo se propone el diseño de una plataforma de IoT para la monitorización ambiental y de sustrato aplicada en viveros de plantas ornamentales, considerando como caso de estudio el Consejo Estatal de Productores de Plantas de Ornato (COEPPLANTS) del

estado de Colima, México; el cual, se encarga principalmente de la producción de plantas ornamentales. Este consejo está conformado por cincuenta y dos viveristas que se encargan de comercializar especies ornamentales producidas en el estado a través de su comercializadora Ornamentales de Colima SPR de RL de CV (ORNACOL). Actualmente, como parte de su infraestructura digital se cuenta con una red de sensores autoconfigurable que opera con tecnología 6LoWPAN (Cortés-Quiroz *et al.*, 2020) y un nodo portable que mide valores de pH y conductividad eléctrica (CE) del sustrato de las plantas de ornato, el cual utiliza la tecnología inalámbrica WiFi para la transmisión de los datos sensados (Delgadillo-Gaytán *et al.*, 2018). No obstante, no cuenta con una plataforma, como parte de su infraestructura, que permita el aprovisionamiento, gestión de los datos e interoperabilidad entre estos proyectos; por lo tanto, el diseño propuesto surge de la necesidad de integrar éstos, solución que será capaz de ofrecer:

- Una infraestructura digital sostenible y de bajo coste que favorezca el desarrollo sustentable en la producción de plantas ornamentales para el despliegue de una solución IoT novedosa que pueda migrar a distintos contextos del sector agrícola.
- Monitoreo dinámico de la información sensada en torno a las condiciones del sustrato de las plantas, así como del ambiente de forma remota.
- Almacenamiento de los datos en una base de datos alojada en la nube garantizando el acceso ubicuo a la información.
- Capa de presentación para el análisis oportuno y preciso de los datos para mejorar los procesos de toma de decisiones sobre la producción de plantas ornamentales.
- Conectividad total a Internet en las áreas de producción del vivero.
- Posibilidad de implementarse en invernaderos con dimensiones mayores (escalable).

El resto del artículo presenta la metodología tanto de investigación como de desarrollo; resultados que describen el diseño arquitectural propuesto, así como la viabilidad de este considerando el avance parcial del desarrollo tecnológico del mismo; las conclusiones, discusión y trabajo a futuro de este proyecto.

2. METODOLOGÍA

En esta sección se describe la metodología de investigación y de desarrollo para el alcance de los resultados presentados en este artículo. La investigación se ha desarrollado siguiendo un diseño de investigación-acción; mientras que, para la especificación del diseño arquitectural y del avance parcial del desarrollo tecnológico se empleó la metodología de desarrollo en espiral. A continuación, se describe cada una de éstas.

2.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la investigación de este proyecto se sigue el enfoque de la investigación aplicada, que de acuerdo con Sampieri (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014) cumple con el propósito fundamental de resolver problemas, incluyendo como justificación adelantos y productos tecnológicos; a su vez, se marca en un diseño investigación-acción el cual tiene como precepto conducir a cambiar y por tanto este cambio debe incorporarse en el propio proceso de investigación, es decir, se indaga al mismo tiempo que se interviene.

Por el tipo de investigación se utilizó como instrumento de recolección de datos la observación participante a través de la investigación de campo, manteniendo experiencias directas con los productores y con el ambiente, como fueron las pruebas realizadas en una de las zonas de producción de ORNACOL.

2.2. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Para la especificación del diseño arquitectural o modelo del sistema de la plataforma IoT, se eligió la metodología de espiral como metodología de desarrollo. Metodología definida por Pressman (2020) como un modelo evolutivo que se desarrolla en una serie de entregas, enmarcadas en las fases de: comunicación, planeación, modelado, construcción y despliegue; las cuales, se repiten con cada iteración. Durante la primera iteración lo que se entrega puede ser un modelo o un prototipo, y las entregas posteriores

producen versiones cada vez más completas del sistema. La Figura 1 muestra las fases del modelo y su comportamiento evolutivo.

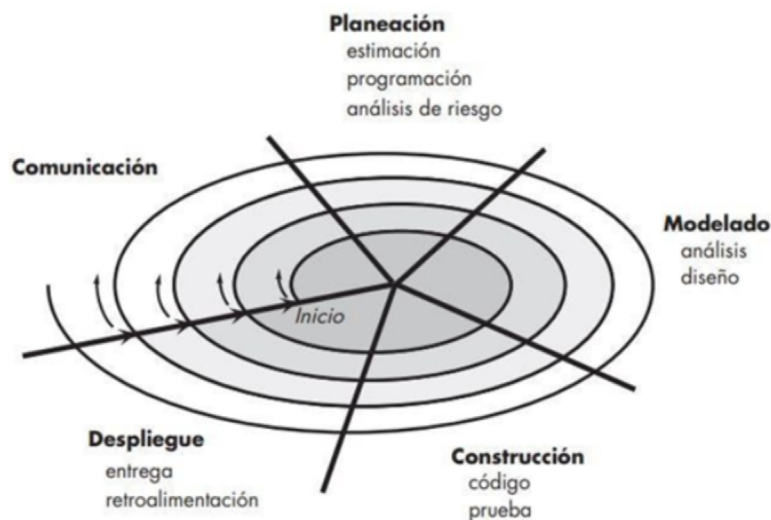


Figura 1. Metodología Espiral.

Fuente: Pressman (2020).

De manera que, a continuación, se enlistan las actividades realizadas para el desarrollo del diseño propuesto en este artículo, las cuales se enmarcan en la primera iteración considerado como el modelo del sistema:

- **Comunicación:** Se entabló comunicación con los productores de COEPPLANTS para establecer los requisitos del proyecto considerando la necesidad de: 1) integrar un nodo portable para el muestreo de conductividad y pH en el sustrato de plantas de ornato y 2) una red de sensores para el monitoreo ambiental en torno a la producción de éstas. Para su integración, se identificó que se cuenta con una infraestructura tecnológica básica basada en conectividad WiFi y de bajo costo, con un modem único para el acceso a Internet el cual no cubre las áreas de producción a cielo abierto y bajo sombra en donde el nodo portable se tiene que desplazar para el muestreo del sustrato, así

como la necesidad de registrar los datos recolectados por este en un almacenamiento en la nube. En cuanto a la red de sensores, ésta se encuentra desplegada en las zonas de producción y su capacidad de autoconfiguración y adaptación, así como la utilización del estándar 6LoWPAN la dotan de las características necesarias para su operación e integración con el Internet; no obstante, carece de una infraestructura de almacenamiento persistente y de mecanismos de visualización y presentación de la información sensada. Por tal motivo, como resultado de la primera iteración en esta fase se identificó la necesidad de: 1) expandir la red mediante repetidores basados en WiFi con el objetivo de proporcionar conectividad al nodo portable a través de las diversas áreas de producción; 2) crear una infraestructura de almacenamiento en la nube con características de persistencia que permita que la red de sensores 6LoWPAN registre y genere un histórico de los datos sensados y 3) crear un sistema en entorno web que permita visualizar y analizar la información recolectada del nodo portable y de la red de sensores.

- **Planeación:** Se realizó una investigación para determinar y estimar: 1) la plataforma de bajo costo que permita la creación de los repetidores WiFi para cubrir las áreas de producción en donde se estará desplazando el nodo portable que mide las condiciones del sustrato de las plantas en producción; 2) el tipo de base de datos en la nube para el almacenamiento. 3) las tecnologías para el desarrollo del sistema en entorno web para la presentación-análisis de los datos y 4) la planificación del proyecto y el análisis de riesgo en el desarrollo y 5) la planeación del despliegue con base en un mapa de cobertura. Esta iteración resultó en la identificación de la plataforma ESP8266 con conectividad WiFi para la construcción de los repetidores, Firebase como base de datos para el almacenamiento en la nube de los datos con características de persistencia y Node. Js, JavaScript, HTML5 y CSS para la construcción de la capa de presentación de los datos en la nube.
- **Modelado:** Se realizó la: 1) especificación de los requisitos funcionales y no funcionales, 2) modelo de la arquitectura de red y comunicación de la plataforma IoT.

- **Construcción:** Se adquirió la plataforma ESP8266 para la creación de los repetidores WiFi, se realizaron pruebas para asignarle mediante la codificación y programación de ésta el rol de repetidor WiFi, se configuró agregando los parámetros necesarios para que ésta pudiera funcionar incluyendo las credenciales de la red WiFi y modo de conexión en malla a la que se iba a conectar y pudiera tener conexión a Internet, la administración de energía mediante una batería externa, así como la elaboración de un mapa de cobertura para planear la distribución de los repetidores considerando el rango de transmisión de WiFi y las áreas de producción del vivero.
- **Despliegue:** Se realizó la primera prueba funcional de los repetidores para demostrar la viabilidad técnica, así como pruebas con la base de datos Firebase para su integración para el registro de los datos que serán recolectados y sensados, resultando en un repetidor funcional capaz de proporcionar conectividad a un dispositivo móvil para efectos de las pruebas, permitiendo el envío de mensajes de texto a través de la conexión al repetidor.

Las iteraciones mostradas en la metodología delimitan el alcance de este artículo, el cual propone el diseño arquitectural de una plataforma IoT para la monitorización ambiental aplicada en viveros de plantas ornamentales. Las iteraciones siguientes corresponden con fases que se trabajarán como trabajo a futuro para el desarrollo e implantación del proyecto.

3. RESULTADOS

Como resultados con base en el alcance del presente artículo y la realización de la primera iteración de la metodología de desarrollo se obtiene la especificación del diseño arquitectural de una plataforma de IoT para la monitorización ambiental aplicada en viveros de plantas ornamentales; la cual, surge de la necesidad de integrar dos proyectos, una red de sensores autoconfigurable que trabaja con tecnología 6LoWPAN (Cortés-Quiroz *et al.*, 2020) y un bastón portable que mide valores de pH y conductividad eléctrica (CE) el cual utiliza WiFi para enviar los datos que mide (Delgadillo-Gaytán *et al.*, 2018). Por lo que, esta infraestructura tecnológica que se propone también usará WiFi para que el bastón portable

pueda funcionar a lo largo de las zonas de producción de ORNACOL y sea capaz de enviar los datos sensados a una Base de Datos en la nube en Firebase, la cual también recibe datos de la Red de Sensores basada en el estándar 6LoWPAN. De esta forma será posible observar la información de ambos proyectos desde un solo lugar, propiciando transparencia en los servicios y en los recursos de cada uno de los proyectos, así como el acceso ubicuo desde cualquier dispositivo, en cualquier momento y desde cualquier lugar, de tal forma que los productores puedan ver la información de manera dinámica del entorno ambiental de las áreas de producción así como del monitoreo del sustrato de las plantas y con esto poder tomar las mejores decisiones para el bien de la producción de las plantas de ornato.

Con base en lo realizado anteriormente, en la Figura 2 se muestra el resultado obtenido del diseño arquitectural de la plataforma IoT propuesta en donde se detalla el proceso y la funcionalidad que se realiza en cada paso.

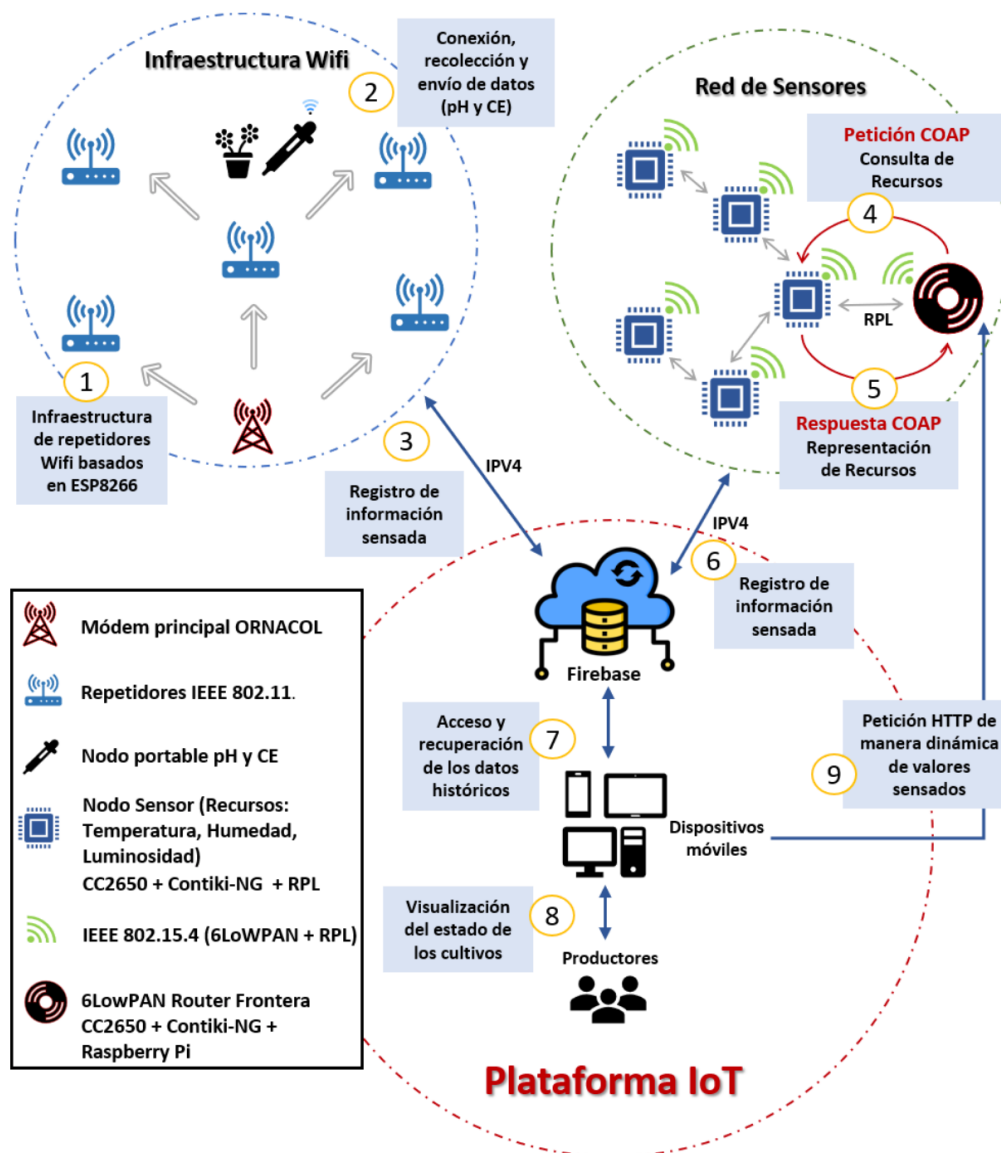


Figura 2. Diseño arquitectural de la solución propuesta.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describe cada proceso que se realiza dentro del diseño arquitectural:

1. Se configura la infraestructura de repetidores WiFi basados en la tarjeta ESP8266 para que tengan las credenciales del módem principal, el cual provee el acceso a Internet. Cada uno de los repetidores debe ser configurado para que pueda funcionar con una distribución en malla y con esto poder lograr ampliar la cobertura de red a lo largo de las áreas de producción.
2. Una vez que la infraestructura se encuentra en funcionamiento, el nodo portable de pH y CE realiza la conexión a la red. Se lleva a cabo el sensado del sustrato de las plantas.
3. Los valores se envían a través del protocolo IPv4 y se almacenan en la base de datos de Firebase alojada en la nube. Este proceso se realiza de manera dinámica, en cuanto se tienen los datos se actualiza la BD.
4. Dentro de la Red de Sensores, el router frontera puede realizar peticiones de manera periódica a los nodos sensores para obtener recursos como humedad, temperatura, luminosidad y presión atmosférica.
5. Los nodos sensores reciben, procesan, obtienen el recurso solicitado y responden a la petición del router frontera.
6. La información recopilada se registra en la misma base de datos que utiliza el nodo portable, esto de igual forma se realiza de manera dinámica a través del protocolo IPv4.
7. Se realiza el acceso a la base de datos de Firebase, de donde se extrae la información necesaria para ser enviada a la plataforma web.
8. Los productores pueden visualizar el estado de sus cultivos, tanto de la red de sensores como del nodo portable de pH y CE, por medio de cualquier dispositivo móvil con acceso a Internet accediendo al sitio web.

9. Existe la posibilidad de realizar una petición HTTP sobre un nodo en específico para conocer su estado actual. Esto también se realiza de manera dinámica.

De igual forma, para demostrar la viabilidad técnica de la solución propuesta se logró realizar:

- El estudio del terreno del caso de estudio permitiendo definir un mapa de cobertura con la finalidad de realizar las pruebas de transmisión, rango de alcance, velocidad de conexión a Internet y otros parámetros necesarios para asegurar que el nodo portable de pH y CE pueda enviar los datos sensados a la base de datos en la nube. Después de realizar las pruebas requeridas con los repetidores, se determinó que éstos deben estar a una distancia máxima de 35 metros. La Figura 3 muestra el mapa de cobertura elaborado para el desarrollo e implementación de la infraestructura de repetidores WiFi, el cual permite demostrar la distribución que tendrán los nodos, la cantidad y distribución para crear la infraestructura de conectividad. Como se puede observar en la imagen la superficie en rojo muestra la ubicación de las oficinas de ORNACOL en donde se encuentra el módem que proporciona la conexión a Internet y los puntos en amarillo representan cada uno de los repetidores requeridos para cubrir las áreas de producción.

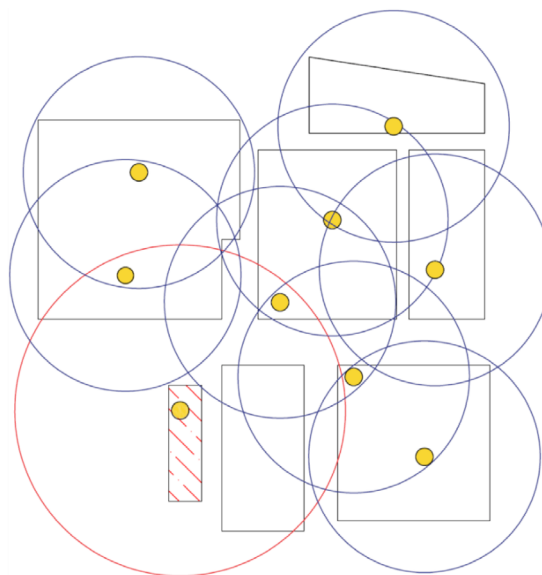


Figura 3. Mapa de Cobertura de las áreas de producción en ORNACOL y los repetidores necesarios para el desarrollo de la infraestructura digital.

Fuente: elaboración propia.

- La configuración de varias tarjetas ESP8266 para crear los repetidores (Figura 4), se les añadió el Firmware `ESP_WIFI_REPEATER`¹ y se usó el modo Automesh para conectarse en modo malla, se les añadió una batería externa y se realizaron pruebas rápidas para demostrar la conectividad entre ellos y la conectividad de un dispositivo móvil a Internet a través de éstos, obteniendo con esto un primer prototipo de los repetidores WiFi que proporciona una infraestructura para el nodo portable de pH y CE. Esto permitirá crear una infraestructura de bajo costo logrando proporcionar conexión a Internet al nodo portable que se estará desplazando por las áreas de producción para el muestreo del sustrato de las plantas de ornato.

¹ https://github.com/martin-ger/esp_wifi_repeater

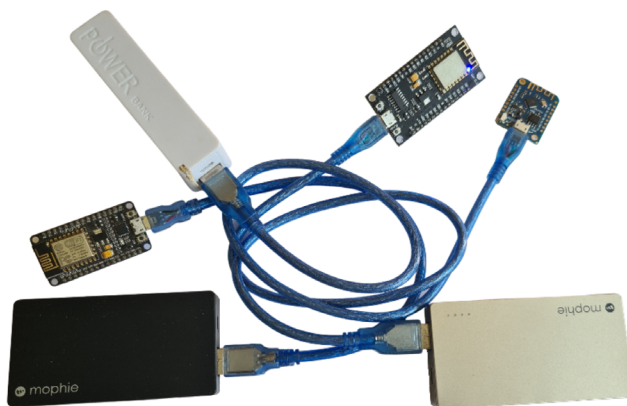


Figura 4. Prototipo del repetidor.

Fuente: elaboración propia.

- El diseño de la base de datos de Firebase que utilizará tanto el nodo portable basado en WiFi como la red de sensores basada en 6LoWPAN la cual logra la conectividad a Internet a través del módem y la utilización de un enrutador frontera conectado a este; el cual, se encarga de conformar la red 6LoWPAN y proporcionarle salida a Internet mediante un túnel entre su interfaz Ethernet y la interfaz de radio IEEE 802.15.4 empleada por esta red.
- Pruebas de almacenamiento de los datos sensados del nodo portable; el cual ya tiene la posibilidad de recolectar la información y transmitirla de manera dinámica, así como de la red de sensores 6LoWPAN (Figura 5).

<https://iot-ornacol-default-rtdb.firebaseio.com/>

iot-ornacol-default-rtdb

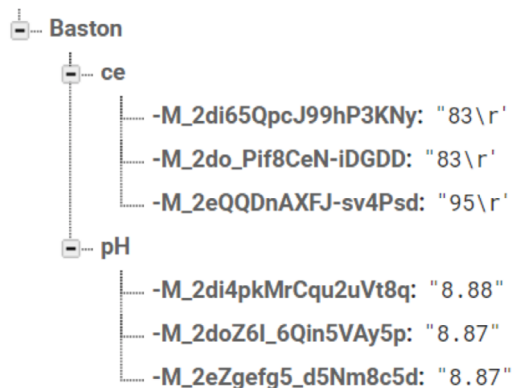


Figura 5. Datos recolectados y subidos a la nube.

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, a manera de discusión de resultados, se presenta un análisis cualitativo sobre las características y funcionalidades que la plataforma IoT, cuyo diseño se presenta en el alcance de este artículo proporcionará una vez que ésta sea desarrollada e implantada en las instalaciones del caso de estudio, el cual se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis cualitativo sobre las características y funcionalidades de las soluciones existentes con la plataforma IoT que se propone.

Soluciones	Características				
	Tecnología aplicada	Plataforma web para visualizar datos	Bajo costo	Almacenamiento en la nube	Proporciona interoperabilidad transparente con sistemas y protocolos de Internet
Gómez <i>et al</i> (2017)	MQTT, Paho	Si	Si	No	No
Flores (2017)	jFuzzyLogic, ZigBee, Servidor	Si	No	Si	No
Terrones (2018)	ZigBee, PHP, MySQL	Si	No	No	No
Núñez-Agurto <i>et al</i> (2020)	WiFi, MQTT	Si	Si	No	No
Guerrero <i>et al</i> (2017)	ZigBee, Redes Móviles	Si	Si	Si	No
Propuesta Plataforma IoT	6LoWPAN, CoAP, WiFi	Si	Si	Si	Si

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, a diferencia de las soluciones existentes analizadas en este artículo, la plataforma IoT propuesta permite integrar tecnologías de red inalámbricas estandarizadas, lo cual permite:

- Integración e interoperabilidad transparente con los sistemas y protocolos de Internet existentes.
- Almacenamiento en la nube con características de persistencia.
- Infraestructura de bajo costo considerando plataformas de hardware accesibles y de código abierto.
- Visualización y análisis de los datos con tecnologías de código abierto ampliamente utilizadas por los tecnólogos lo que permitirá escalar el sistema y realizar actualizaciones y mantenimientos eficientes y eficaces.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta el diseño arquitectural de una plataforma IoT para la monitorización ambiental en viveros de plantas ornamentales. Además, para demostrar su viabilidad técnica, se han definido los siguientes puntos: un primer prototipo de los repetidores a utilizar para crear la infraestructura requerida en las áreas de producción, un mapa de cobertura de la distribución de los repetidores situados a una distancia de 35 metros, distancia establecida debido al gran número de árboles y plantas que hay dentro del vivero que influyen en la intensidad de la señal con base en las pruebas de cobertura realizadas, así como pruebas de almacenamiento del sensado del nodo portable y de la red de sensores 6LoWPAN.

El trabajo futuro se enfoca en las iteraciones siguientes de la metodología en espiral para: crear los repetidores suficientes con base en el mapa de cobertura, realizar pruebas de ganancia mediante la incorporación de una antena externa, desplegar los repetidores en las áreas de producción y realizar las pruebas necesarias para garantizar la conectividad del nodo portable en todas las áreas de producción.

Además, también se plantea el desarrollo de la capa de presentación; la cual, permitirá el análisis oportuno, preciso y eficiente de los datos para mejorar los procesos de toma de decisiones sobre la producción de plantas ornamentales, empleando tecnologías web de código abierto las cuales brindan flexibilidad, actualización y escalabilidad del sistema, facilitando el mantenimiento de éste. Esta plataforma contribuirá a: reducir el esfuerzo laboral en el muestreo de las variables tanto climatológicas como del sustrato de las plantas ornamentales que afectan su desarrollo y calidad; reducción de posibles errores humanos en la recopilación de los datos, así como ahorro de tiempo y por consiguiente dinero, ya que permitirá a través de la visualización del comportamiento de las variables tomar decisiones sobre acciones preventivas y la ministración de nutrientes, fertilizantes y agroquímicos.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACyT por su programa de Becas Nacionales y al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Colima por su programa de Maestría en Sistemas Computacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agroproductores. (2019). Horticultura ornamental: situación actual en México. <https://agroproductores.com/horticultura-ornamental/>

Almalki, F., Soufiene, B., Alsamhi, S., y Sakli, H. (2021). A Low-Cost Platform for Environmental Smart Farming Monitoring System Based on IoT and UAVs. *Sustainability*, 13(11), 5908. <https://doi.org/10.3390/su13115908>

Alreshidi, E. (2019). Smart Sustainable Agriculture (SSA) Solution Underpinned by Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 10(5). <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100513>

Cortés-Quiroz, J.A., Figueroa-Millán, P. E., Farias-Mendoza, N., Chávez-Valdez, R. E., y Cervantes-Zambrano, F. (2020). Diseño de una Red de Sensores Autoconfigurable para el Monitoreo de Parámetros Físicos en Viveros de Plantas Ornamentales. Congreso Int. en Ing. Electrónica. Mem. *ELECTRO*, 42, 89-94.

De Prieëlle, F., De Reuver, M. y Rezaei, J. (2020). The Role of Ecosystem Data Governance in Adoption of Data Platforms by Internet-of-Things Data Providers: Case of Dutch Horticulture Industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1-11. doi: 10.1109/TEM.2020.2966024

Delgadillo-Gaytán, R., García-Díaz, N., García-Virgen, J., y Osorio-Llerenas, E. (2018). Diseño y construcción de un nodo prototipo para monitoreo de humedad de suelo en invernaderos ornamentales. Congreso Int. en Ing. Electrónica. Mem. *ELECTRO*, 40, 133-139.

- Dinesh, J. R., Priyadharsini, K., Saktheewaran, G., Jannani, R., Keerthi, G., y Ganesh, C.** (2021). An Experimental Study of Outgrowth of Plants in Horticulture using IoT. *SSRN Electronic Journal*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3768386>
- Farooq, M., Riaz, S., Abid, A., Umer, T., y Zikria, Y.** (2020). Role of IoT Technology in Agriculture: A Systematic Literature Review. *Electronics* 9(2), 319. <https://doi.org/10.3390/electronics9020319>
- Flores Gallegos, E.** (2017). Sistema de Control Difuso para el Monitoreo de la Temperatura, la Humedad, el PH, y la Conductividad Eléctrica en Invernaderos de Plantas Ornamentales. [Tesis doctoral, Tecnológico Nacional de México]. <http://hdl.handle.net/123456789/721>
- García, A., Iglesias, E. y Adamowicz, A.** (2019). The Impact of Digital Infrastructure on the Sustainable Development Goals: *A Study for Selected Latin American and Caribbean Countries*. <http://dx.doi.org/10.18235/0001685>
- Gómez, J.E., Castaño, S., Mercado, T.T., Fernández, A., y García, J.Á.** (2018). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e innovación*, 5(1). <http://dx.doi.org/10.21897/23460466.1101>
- Guerrero, J., Estrada, F. y Medina, M.** (2017). SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión. *Sistemas, Cibernética e Informática*, 5(2). <http://www.iiisci.org/journal/pdv/risci/pdfs/CA544SI17.pdf>
- Hassan, Q. F.** (2018). Internet of things A to Z: technologies and applications. *Wiley-IEEE Press*.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, P.** (2014). Metodología de la investigación (6a ed.). McGraw-Hill Education.

- Mishra, K., Kumar, S., y Patel, N.** (2021). Survey on Internet of Things and its Application in Agriculture. *Journal of Physics: Conference Series*, 1714, 012025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1714/1/012025>
- Nuñez-Agurto, D., Benavides-Astudillo, E., Rodríguez, G., y Salazar, D.** (2020). Propuesta de una Plataforma de Bajo Costo Basada en Internet de las Cosas para Agricultura Inteligente. *Cumbres*, 6(1), 53–66. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v6n1a5>
- Ornamentales de Colima SPR de RL de CV.** (2021). CONÓCENOS. <https://ornacol.com/historia>
- Pattar, S., Buyya, R., Venugopal, K., Iyengar, S., y Patnaik, L.** (2018). Searching for the IoT Resources: Fundamentals, Requirements, Comprehensive Review, and Future Directions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(3), 2101-2132. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2825231>.
- Pressman, R. S., y Maxim, B. R.** (2020). Software Engineering: A Practitioner's Approach. *McGraw-Hill Education*.
- Singh, A., Payal, A., y Bharti, S.** (2019). A walkthrough of the emerging IoT paradigm: Visualizing inside functionalities, key features, and open issues. *Journal of Network and Computer Applications*, 143, 111-151. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.06.013>
- Terrones Benicio, R. C.** (2018). Sistema Web para el Monitoreo de la Temperatura, Humedad, Salinidad y Conductividad Eléctrica en Invernaderos de Plantas Ornamentales. [Tesis doctoral, Tecnológico Nacional de México]. <http://hdl.handle.net/123456789/1239>
- UN General Assembly.** (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.

Zikria, Y., Ali, R., Afzal, M., y Kim, S. (2021). Next-Generation Internet of Things (IoT): *Opportunities, Challenges, and Solutions*. *Sensors*, 21(4), 1174. <https://doi.org/10.3390/s21041174>

