



Sistema IoT para el cuidado de plantas ornamentales

IoT-system for ornamental plant care

César Manuel Hernández Mendoza

TECNM/ITS de Irapuato, Irapuato, México

cesar.hm@irapuato.tecnm.mx

ORCID: 0000-0003-4667-9816

Juan Pablo Serrano Rubio

TECNM/ITS de Irapuato, Irapuato, México

juan.sr@irapuato.tecnm.mx

ORCID: 0000-0003-3705-5112

Ander Osvaldo Manjarrez Carillo

Jefatura del Municipio de Irapuato, México

isc.aomc@outlook.com

Luz María Rodríguez Vidal

TECNM/ITS de Irapuato, Irapuato, México

luz.rv@irapuato.tecnm.mx

ORCID: 0000-0002-6287-8906

Rafael Herrera Guzmán

Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), Guanajuato, México

rherrera@cimat.mx

ORCID: 0000-0001-8393-6573

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.10.22.002>

Recibido: Febrero 17, 2022

Aceptado: Julio 08, 2022

Resumen: El Internet de las Cosas (IoT) ha permitido conectar dispositivos heterogéneos para ofrecer nuevos servicios y aplicaciones a los usuarios utilizando información del entorno. El objetivo de este artículo es presentar un sistema IoT para monitorear continuamente los cambios en el contenido de humedad del suelo y la temperatura ambiente de las plantas ornamentales. Además, se implementó un sistema de riego para mantener la humedad del suelo de las plantas dentro de un intervalo de tiempo. El tiempo de activación de la bomba de agua constituye la variable estimada del sistema IoT automatizado que se propone, por lo que la metodología de investigación fue aplicada en la realización de pruebas y experimentaciones relacionadas con esta variable. El sistema de riego se puede activar desde una App desarrollada en Android, así mismo, se ha generado un sistema electrónico propuesto basado en Arduino y el microchip ESP8266-201, la comunicación entre el ESP8266 y Arduino, se logra mediante comandos AT. Como complemento se ha propuesto la tecnología SigFox para recolectar y almacenar los valores de medición de humedad del suelo de la planta en un servidor de base de datos. La propuesta presenta importantes resultados para determinar intervalos de tiempo y cantidad de agua a suministrar a las plantas de ornato.

Palabras clave: Internet de las Cosas, Tecnología SigFox, Cuidado de Plantas Ornamentales.

Abstract: The Internet of Things (IoT) has allowed to connect heterogeneous devices to offer new services and applications to users using information of the environment. The goal of this paper is to present an IoT-System to continuously monitor changes in the soil moisture content and ambient temperature of ornamental plants. In addition, an irrigation system was implemented to maintain the soil moisture of the plants within a time interval. The activation time of the water pump constitutes the estimated variable of the proposed automated IoT -System, so the research methodology was applied in carrying out tests and experimentations related to this variable. The irrigation system can be activated from an App developed in Android, likewise, a proposed electronic system based on Arduino and the ESP8266-201 microchip has been developed, and the communication between the ESP8266 and Arduino is achieved through AT commands. As a complement, SigFox technology has been proposed to collect and store the plant's soil moisture measurement values in a database server. The proposal presents important results to determine intervals of time and amount of water to supply for ornamental plants.

Keywords: Internet of Things, SigFox Technology, Ornamental Plant Care.

1. Introducción

El uso de los dispositivos inteligentes (*smartphones*, tabletas, autos, electrodomésticos, etc.) se ha incrementado en los últimos años debido a la capacidad que tienen los dispositivos para interconectarse entre sí para hacer más fáciles las actividades del ser humano [1]. El paradigma del Internet de las Cosas (IoT) y la Industria 4.0 ha creado la posibilidad de hacer uso de sensores y microchips para obtener información del entorno en empresas, oficinas, ciudades y casa habitación con el objetivo de ayudar a los usuarios a mejorar su estado de salud y la seguridad de los espacios, así como en la automatización de procesos [2, 3, 4]. Entre los módulos que se han popularizado por su bajo costo y por la facilidad que ofrecen para su programación se encuentran los siguientes: a) tarjetas Intel Galileo 2, Raspberry Pi 2 & 3 y Arduino [5]. Por otro lado, en los últimos años se ha incrementado la necesidad que tienen los usuarios para disminuir los tiempos de respuesta del procesamiento de sus datos, así como utilizar al máximo sus recursos de conectividad entre dispositivos. Particularmente esta investigación pretende aplicar estas tecnologías para aprovechar recursos naturales como el agua mediante el riego eficiente y proporcional al crecimiento de las plantas, ya que gran parte de la población desconoce que el riego “*adecuado*” de las plantas es uno de los cuidados básicos que toda persona debe tener como prioridad para el mantenimiento y sobrevivencia de sus ejemplares. Algunas personas adoptan el mantenimiento de las plantas como una actividad de distracción, sin embargo, otras personas no siempre disponen del tiempo necesario para hacerlo, ya que hacen el riego de las plantas sólo cuando observan un deterioro en el crecimiento del ejemplar. Así mismo, se ha detectado que existen personas que llegan a perder ejemplares ya que hacen un riego de las plantas únicamente cuando observan un deterioro en el estado de la planta. Por otra parte, esta situación se repite con los ejemplares ubicados en oficinas o lugares de trabajo, ya que no hacen un riego apropiado de las plantas debido a los largos periodos vacacionales y a que estos sitios se encuentran cerrados durante varios días pues en algunos casos los periodos de vacaciones comprenden de 15 a 30 días. La propuesta de esta investigación consta de un dispositivo electrónico que utiliza algunos sensores y tecnologías de comunicación con el fin de contribuir a la solución de estas situaciones. El sistema está integrado de un dispositivo basado en Arduino Nano como microcontrolador y el módulo WiFi serial ESP8266 para establecer la comunicación inalámbrica con un *smartphone* y la instalación de sensores en la periferia de la planta. El *software* del dispositivo tiene el objetivo de enviar la información obtenida de los sensores de humedad del suelo y temperatura del ambiente al *smartphone* del usuario. Así mismo, se incorpora la funcionalidad que brinda un algoritmo para activar y desactivar la bomba de agua que provee el riego a la planta. El uso de la plataforma de Arduino provee la facilidad de utilizar una gran diversidad de sensores y módulos WiFi para la comunicación inalámbrica lo que permite tener una gran flexibilidad en el diseño del circuito [6]. Para cuestiones de monitoreo, se añade la tecnología SigFox para obtener el porcentaje de humedad durante el día, esta información puede consultarse desde cualquier dispositivo ya que la información se concentra en la nube (servidor web). El objetivo del sistema inteligente propuesto es ayudar al usuario a cuidar de las plantas dentro de su departamento u oficina, reducir el tiempo para el riego de la planta y cuidar de la planta cuando el usuario tiene periodos vacacionales por más de 15 días. El control de la cantidad de humedad en el suelo de las plantas es una tarea importante ya que a menudo se pierden ejemplares al no saber la cantidad de humedad que necesitan las

plantas o por el desconocimiento de la frecuencia que se tiene que hacer el riego de acuerdo con la capacidad que tiene el suelo para mantener la humedad, inclusive la frecuencia de riego depende de las necesidades de cada tipo de la planta.

Se ha observado que el uso de dispositivos electrónicos que transmiten y reciben información usando algún medio inalámbrico ha demostrado rentabilidad y bajo costo en comparación al uso de cables para transmitir la información [7]. El sistema de comunicación utiliza un protocolo cliente – servidor para transmitir la información a un servidor y/o a un dispositivo móvil, incorporando la tecnología SigFox para registrar el valor de la humedad del suelo de la planta en la nube. En esta investigación se presenta el diseño y *hardware* del sistema electrónico, posteriormente el *software* implementado en el dispositivo electrónico y el protocolo de comunicación entre el dispositivo electrónico y la aplicación del dispositivo móvil, así como el control que se tiene para activar y desactivar la bomba de agua. Finalmente, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. Estado del arte

Recientemente, se ha observado un rápido crecimiento del número de dispositivos de IoT y sensores inalámbricos que envían datos a un servidor propiamente haciendo uso del *Cloud-Computing*, donde se procesa la información y se obtienen conclusiones para decidir cuándo activar un cierto evento. Sin embargo, en algunos casos el tiempo de respuesta no es el óptimo para aplicaciones de tiempo real ya que existe una fuerte dependencia de la capacidad que tiene la plataforma de *Cloud Computing* para procesar la información y de la disponibilidad de la infraestructura de la red. En los últimos años se han propuesto diversos diseños de dispositivos electrónicos que se pueden usar en viviendas y oficinas para el cuidado de plantas de ornato haciendo uso de teléfonos celulares, computadoras y sensores. Estos dispositivos han sido adoptados fácilmente debido a que la popularidad de plantas de ornato en oficinas, casas y negocios se ha incrementado a consecuencia de la necesidad de mejorar la estética de las instalaciones, obtener espacios que le permitan a las personas sentirse bien en áreas urbanas, reducir los costos y tiempo para el cuidado de las plantas [8]-[10]. Como parte de la problemática mencionada en la introducción, algunas personas optan por trasladar las plantas a sus hogares para cuidar de ellas durante el período vacacional, lo cual es sencillo cuando el tamaño de la planta es pequeño, pero en ocasiones requiere de un gran esfuerzo cuando el tamaño y peso de la planta dificulta su traslado. Para resolver el problema, se han realizado algunos estudios con productos de la compañía Parrot, con un dispositivo llamado “*Flower Power*” el cual tiene la capacidad de medir la humedad del suelo y enviarle información a un *smartphone* para indicar al usuario cuándo debe hacer el riego de la planta [11]. La tecnología de sensores ha sido extensamente aplicada al cuidado de las plantas, de acuerdo con [12] existen 2 tipos de sistemas para el cuidado de las plantas: a) sistemas a grandes escalas para invernaderos y b) sistemas a pequeñas escalas usualmente usados en oficinas y viviendas [13]. Por otra parte, las tecnologías de red inalámbricas estandarizadas pueden ser integradas en el desarrollo de proyectos semejantes, tal como lo describe [14] para la obtención de integración e interoperabilidad transparente con sistemas y protocolos de internet. El decidir cuándo agregar o quitar algún sensor y verificar si el sistema de cuidado de las plantas funciona correctamente han sido los retos para los sistemas de pequeña escala. En las grandes ciudades las personas han tenido la necesidad de instalar sistemas de riego a pequeñas escalas a consecuencia de las limitaciones de espacio en departamentos y oficinas. Hoy en día, se han generado algunos proyectos que pretenden hacer más eficientes los procesos de producción agrícola utilizando aplicaciones del IoT, uno de ellos es el propuesto por [15], el cual trata de un sistema IoT dedicado al cuidado de cultivos protegidos que mide parámetros relacionados con el desarrollo de las plantas como humedad y temperatura y promueven el crecimiento del cultivo, así mismo [16] realiza un sistema IoT de medición para censar temperatura, pH, humedad y CE, utilizando tecnologías inalámbricas como el ZigBee, un servidor web y un panel de monitoreo, por otra parte, [17] concluye en su propuesta de estudio un sistema IoT que utiliza tecnologías como Python, java y Xchart, entre otros, aplicado a plantas de interiores que permite dar soporte a la monitorización remota y posibilita la aplicación de algoritmos de aprendizaje supervisado y no supervisado, promoviendo en base a estos estudios, un seguimiento en el desarrollo de este tipo de proyectos. Tomando en cuenta estas investigaciones previas y los resultados obtenidos, se presenta en este artículo un sistema inalámbrico basado en el IoT para el cuidado de plantas de ornato que sea capaz de monitorear, accionar un sistema de bombeo y enviar datos a la nube para ser visualizados.

3. Materiales y métodos

Para llevar a cabo este proyecto la metodología aplicada hace referencia al estudio y aplicación del *hardware* utilizado en el dispositivo electrónico, el *software* que rige, controla y condiciona al dispositivo y posteriormente la etapa de pruebas y experimentaciones realizadas. A continuación, se describen estas etapas:

3.1. Hardware: Dispositivo Electrónico

El dispositivo electrónico está basado en componentes que son compatibles con la tecnología inalámbrica WiFi y son de bajo costo, ya que, en conjunto, todo el material involucrado tiene un costo promedio de \$1,100.00 pesos mexicanos y eventualmente cada nodo puede disminuir su precio a \$950.00 dado que uno de los componentes es opcional (*display* LCD). Así mismo las tecnologías utilizadas fueron comparadas con investigaciones semejantes, véase la Tabla 1, pudiendo determinar con esta información que la elección de estos componentes fueron viables y factibles para fines de la investigación. Los criterios de selección del *hardware* fueron dos: como primer elemento la compatibilidad de los componentes con la tecnología SigFox, Arduino y WiFi, como segundo elemento la búsqueda y elección de componentes que representaron un menor costo.

Tabla 1. Comparación cualitativa entre diversas propuestas analizadas con tecnologías IoT.

Propuestas	Características				
	Tecnologías Aplicadas	Visualización de datos en línea	Bajo costo	Almacenamiento en la nube	Interoperabilidad entre protocolos de internet y SigFox
Flores Gallegos (2017) [16]	FuzzyLogic, ZigBee, Servidor	Sí	No	Sí	No
Gómez et al. (2018) [15]	MQTT, Paho	Sí	Sí	No	No
González et al. (2022) [14]	LoWPAN, CoAP, WiFi	Sí	Sí	Sí	No
Sistema IoT propuesto	Arduino, ESP8266, SigFox, WiFi	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

El sistema electrónico está compuesto de los siguientes componentes:

- **Arduino Nano**
Es una plataforma muy popular de *hardware* y *software* de código abierto. Está basado en un entorno de programación de código abierto y una placa pequeña con un microcontrolador ATmega328P [18]. Las características del módulo de Arduino Nano son las siguientes: incorpora el microcontrolador ATmega 328, el voltaje de operación es de 5V, 14 entradas y salidas digitales (de las cuales 6 son salidas PWM). Memoria Flash de 32 kb, memoria SRAM de 2 kb, memoria EEPROM de 1 kb, frecuencia de trabajo de 16 Mega Hertz, las dimensiones del Arduino nano son de 68.6 mm de ancho y 53.4 mm de largo, lo que permite mantener un diseño pequeño del dispositivo electrónico. En el caso de la aplicación que se propone en este artículo se considera el uso de la memoria SRAM (*Static Random Access Memory*) ya que es un recurso limitado y puede agotarse durante la ejecución del programa dado que en esta memoria se crean y se manipulan las variables del programa de Arduino nano.
- **Familia de módulos WiFi serial ESP8266-201**
Los módulos WiFi serial de la familia ESP8266 establecen comunicación inalámbrica entre dispositivos usando una red local. Las dimensiones del módulo son 18 x 20 x 3 mm [19]. Este tipo de módulos ofrecen una solución completa para sistemas que requieren ser conectados a una red WiFi a un bajo costo.
- **Sensor YL-69 y YL-38.**
El sensor está compuesto por el módulo YL-69 y YL-38 el cual es capaz de medir la humedad del suelo. El sensor aplica una tensión entre las terminales del módulo YL-69 las cuales están cubiertas de una capa de material conductor. La medición se obtiene dependiendo de la resistencia que se genera en el suelo. Cuando en el suelo hay humedad se genera un paso de corriente entre las 2 placas. El módulo YL-

38 transforma la señal del sensor YL-69 a una entrada analógica. El intervalo de valores que se obtienen está entre 0 y 1023. Cuando el valor está más cercano a cero se define que el porcentaje de humedad es del 100% [20]. Las características del sensor son las siguientes: voltaje de entrada de 3.3 a 5V, voltaje de salida de 0 a 4.2V, corriente de 35 mA, dimensiones YL-38: 30 x16 mm.

- Sensor DHT11
Es un sensor digital que es capaz de medir la temperatura y humedad del ambiente. Utiliza un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire el aire circundante [20].
- Circuito Integrado L293b
El circuito incorpora 2 drivers denominados puentes H mediante los cuales es posible controlar la bomba de agua (motor de corriente continua). El diagrama de pines puede encontrarse en la guía del fabricante [21].
- LCD 16 x 2
Se ha integrado una pantalla LCD de 16 columnas por 2 filas con el propósito de informar al usuario las mediciones en tiempo real de la temperatura ambiente y la humedad del suelo de la planta [22],[23].
- Regulador de voltaje LM317
Es un regulador de tensión positivo con solo 3 terminales y con un rango de tensión de salida desde 1.25 hasta 37V, el cual tiene el propósito de proteger el microchip ESP8266-201, el cual opera con 3.3V [24].
- Bomba de agua sumergible
La bomba de agua que se utiliza tiene las siguientes características: altura de 4.266 cm, longitud de 3.85 cm, utiliza 5V para su funcionamiento, el caudal de la bomba es de 80 a 120 litros por hora, tiene una capacidad de ascenso de 40 cm a 110 cm y una potencia de 0.4 a 1.5 W. El volumen del recipiente que hemos empleado es de 4 litros de agua.

En la Figura 1, se presenta el diagrama de componentes del dispositivo electrónico el cual se alimenta con un voltaje de 5V.

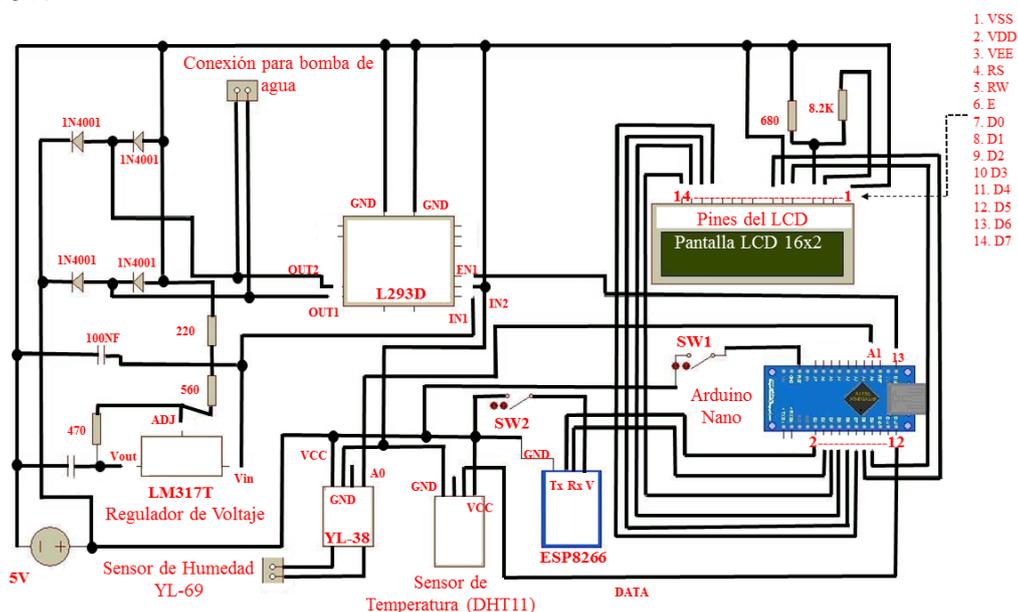


Figura 1. Diagrama de componentes del dispositivo electrónico.

Las dimensiones del dispositivo electrónico son: 14.98cm de largo, 7.49cm de ancho y 2.09cm de alto. Además, se presenta en la Figura 2, una versión del dispositivo con el uso de un *display* LCD, el cual permite ver de forma rápida los valores registrados por los sensores y el cual permitió continuar con avances significativos en el desarrollo del proyecto. Así mismo se presenta en la Figura 3, el dispositivo sin el uso del *display*, ya que, como parte del avance y desarrollo continuo del proyecto, no fue necesario la visualización de datos, ya que fueron enviados a un sitio web en donde se podían visualizar en teléfono o computadora. La diferencia entre ambos dispositivos es que el segundo no cuenta con la pantalla el LCD de 16 por 2 para tener un diseño más compacto y se usa el microchip ESP8266. Además, el tamaño del dispositivo se reduce a 14.98cm de largo, 5.08cm de ancho

y 2.03cm de alto. La versión sin *display* del dispositivo tiene conexiones frontales en las cuales se conecta la bomba de agua con el sensor de temperatura y humedad, esta versión adapta su funcionalidad para cuándo el usuario no requiere información desde la pantalla del dispositivo.

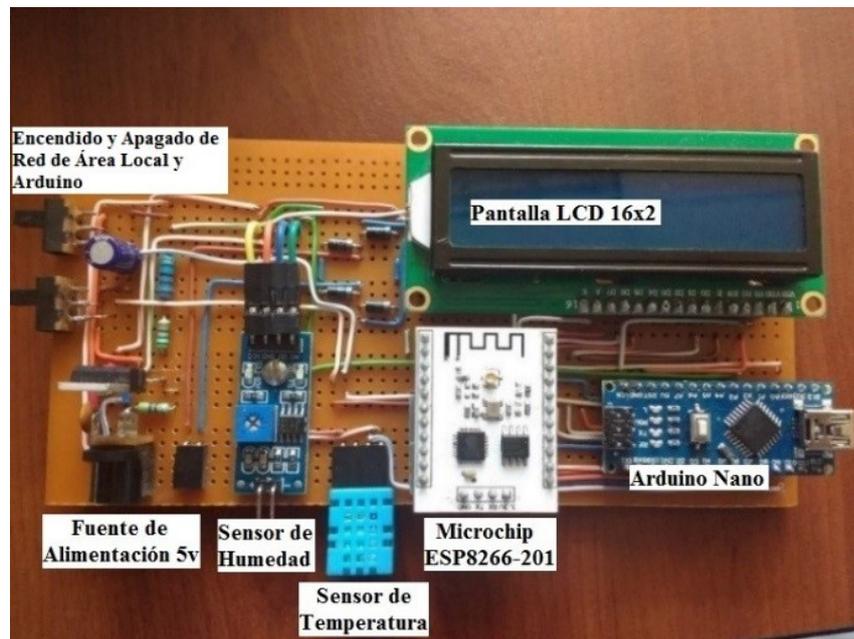


Figura 2. Dispositivo electrónico con pantalla LCD de 16 x 2.



Figura 3. Fotografías tomadas del dispositivo electrónico sin pantalla LCD.

Durante el período de pruebas y experimentaciones, se utilizaron tres módulos iguales por cada tipo de sensor involucrado en la investigación. Se realizaron, con un mismo ejemplar (planta y suelo), test rápidos para cada uno de ellos y eventualmente se analizaron los parámetros recibidos con el fin de detectar posibles fallas o bien, verificar la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos.

En el caso del sensor de humedad en la tierra (YL-38) el procedimiento de calibración consistió en revisar que mostraran resultados iguales cuando se intercambiaban en el mismo ejemplar, solo en uno de ellos fue necesario ajustar el potenciómetro de sensibilidad con el que cuenta el módulo con el fin de obtener resultados iguales a los otros dos. Posteriormente se dejó un período de prueba de 24 horas, conectando los tres sensores de humedad en la periferia de la planta, se regó con “n” cantidad de agua y se registraron los datos obtenidos en cada uno de los sensores que fueron mostrados en el monitor serial del Arduino IDE. Finalmente, este proceso culminó cuando los parámetros recibidos de los tres test obtuvieron un período de estabilidad con un margen de error de ± 2 en las lecturas recibidas. Los resultados del proceso de calibración se pueden observar en la Figura 4.

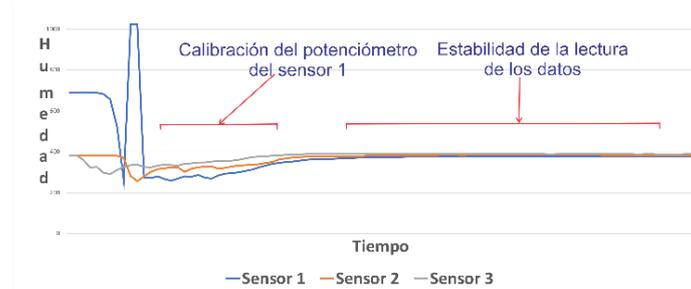


Figura 4. Proceso de calibración de los sensores de humedad.

Con el fin de presentar a los usuarios la información del monitoreo de la humedad del suelo de la planta se usa la arquitectura SigFox. SigFox es una solución de conectividad que provee una red de información para que cualquier objeto en oficinas o casas habitación puedan ser conectados a Internet de las Cosas [25]. Esta tecnología fue desarrollada en 2010 por la Start Up SigFox en Toulouse, Francia, y opera con una tecnología de comunicación inalámbrica basada en una red de baja potencia y área amplia por sus siglas en inglés *Low Power Wide-Area Network* (LPWAN). SigFox opera sobre 31 países y adquiere popularidad por medio de SigFox Network Operator (SNO) quienes administran la cobertura y conectividad de SigFox [26]. WND México, es quien administra la red SigFox para México [27]. La red de SigFox se basa en cuatro características fundamentales para el IoT [28]: *Low Power* = Bajo consumo, *Long Range* = Largo alcance, *Low Traffic* = Mensajes cortos, *Low Cost* = Bajo coste. En la Figura 5, se presenta la tarjeta que se usó para almacenar la información de la humedad de la planta en la nube de SigFox. El número de mensajes que se puede enviar por día es de 140, el tamaño de cada mensaje está limitado a 12 bytes [29].

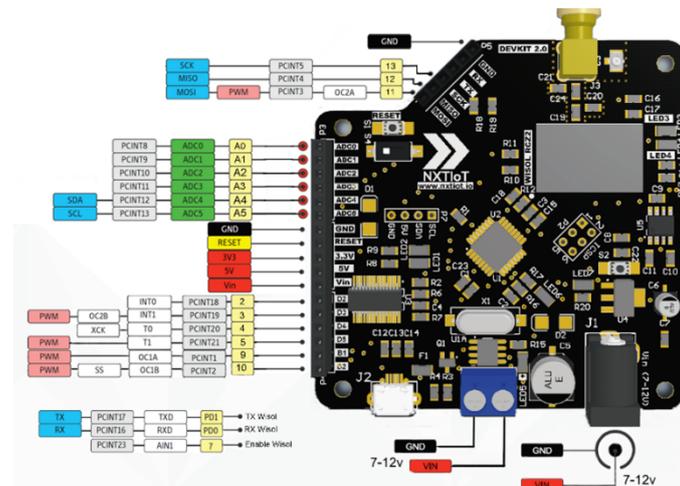


Figura 5. Tarjeta SigFox para el Internet de las Cosas con su diagrama esquemático de información.

Fuente: https://github.com/NXTIoT/NXTIoT_DEVKIT.

En el diagrama del Dev-Kit de SigFox (véase Figura 5), se observa que cuenta con 6 pines digitales y 6 analógicos, tiene 2 pines de comunicación (Tx y Rx), pines de voltaje de 5 y 3.3V, pin de reset, así como una pequeña antena satelital con la que envía los datos a la nube, la alimentación del módulo requiere de 5 a 12V. Para la conectividad de nuestro dispositivo con la red se usa una *Ultra Narrow Band* (UNB) la cual fue diseñada para funcionar con bajas velocidades de transferencia que van de los 10 a los 1000 bps y a un ancho de banda de 200 Hz, lo que provoca que requiera poco voltaje para la transmisión de datos en las áreas de cobertura de SigFox. En la Figura 6, se presenta el diagrama para conectar el Arduino Nano a la tarjeta de SigFox. El sensor de humedad se conecta al Arduino Nano por medio de un pin de entrada analógica, los pines Tx y Rx del Arduino Nano se conectan a los pines D2 y D3 respectivamente. La información es almacenada en un servidor de base de datos y puede ser consultada por los usuarios usando un sitio web. El usuario puede analizar los registros que se obtienen durante el día con el fin de monitorear la condición de la planta.

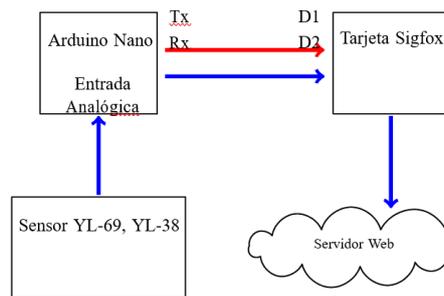


Figura 6. Conexión entre el Arduino nano y la tarjeta SigFox.

3.2. Software

En la Figura 7 se presenta el diagrama de flujo del *software* para iniciar el funcionamiento del sistema electrónico y la lectura de los sensores de temperatura y humedad. El microchip ESP8266-201 permite establecer un ambiente cliente servidor mediante una red inalámbrica de área local.

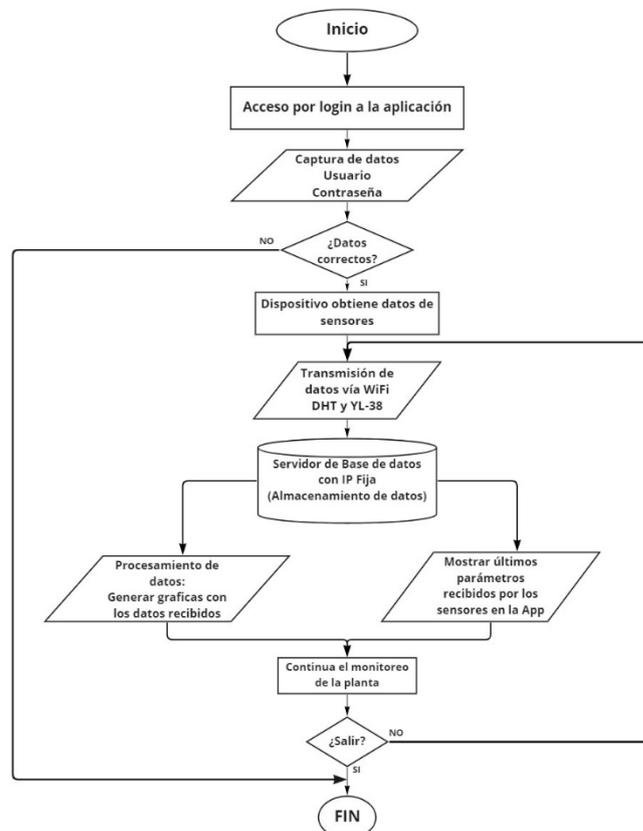


Figura 7. Diagrama de flujo del *software* para el funcionamiento del sistema electrónico.

Se ha desarrollado una aplicación en Android para la versión 4.2 o superior, para informar al usuario de las magnitudes de temperatura y humedad obtenidas por el sensor, la comunicación entre el dispositivo electrónico y el *smartphone* se basa en el uso de *WebSockets*, el dispositivo electrónico se configura con una dirección IP fija y se configura como servidor, el *smartphone* funge como cliente al recibir la información desde el dispositivo, el método de control automático del riego se incorpora al *sketch* (nombre que usa Arduino para un programa) y se copia a la memoria Flash del Arduino para su ejecución. En el programa se incluyen las librerías *LiquidCrystal.h* y *DHT.h* para que el sistema pueda usar los sensores DHT11 y la pantalla LCD. En el método de configuración del *sketch* se define a 9600 baudios la transmisión de la información se realiza a través del WiFi y se trasmite cada 100 milisegundos al *smartphone*. Además, el pin 13 de Arduino se define como salida para el control de la bomba

de agua. El pin A1 y el pin 12 se definen como entradas para obtener la información del sensor de humedad y temperatura respectivamente (ver figura 6). La tarjeta Arduino envía una serie de comandos AT los cuales son interpretados por el microchip ESP8266-201 con el objetivo de crear una interfaz de comunicación entre el dispositivo electrónico y el *smartphone*, la Figura 8 presenta la interfaz de usuario de la APP para el *smartphone*. Para acceder al sistema, el usuario debe conectarse a la señal WiFi escribiendo la contraseña establecida, posteriormente se debe abrir la aplicación en el teléfono móvil e introducir las credenciales programadas en un sistema de login, a continuación, el usuario puede activar la bomba de agua desde el celular independientemente del control automático de riego. El sistema apagará la bomba de agua cuando la humedad del suelo no se recupere en 20 segundos ya que se deduce que el recipiente de agua está vacío y por lo tanto se le informará al usuario por medio de la App.



Figura 8. Interfaz de usuario para el monitoreo de la humedad del suelo temperatura y humedad del ambiente.

3.3. Pruebas y experimentaciones

Se realizaron pruebas con cuatro tipos de suelos, los cuales presentan diferencias en la forma de cómo retienen la humedad, los tipos de suelo utilizados durante el proceso de investigación y algunas de sus características se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de suelo utilizados durante la experimentación.

Número de suelo	Tipo de suelo	Características
Suelo 1	Tierra convencional	Tipo de tierra que se encuentra comúnmente en un patio y/o obra negra, sin ningún tipo de fertilizante, nutriente o compost.
Suelo 2	Tierra preparada	Cuenta con un conjunto de componentes comunes, entre los más destacados están la arena lavada, compost, musgo y la cascarilla de arroz.
Suelo 3	Tierra negra	Por lo general, está formada de restos de hojas secas o también de los desechos orgánicos de los animales que son absorbidos como nutrientes por la tierra.
Suelo 4	Tierra orgánica	La tierra orgánica mejora la retención humedad y da mayor resistencia a la planta, se le añade follaje al contenido.

Fuente: Información proporcionada a partir del contenido en SciELO- Agrociencia [30].

En la Figura 9 se presenta el valor que se recibe del sensor de humedad de cuatro tipos de suelos en el momento que se suministra agua a la maceta de las plantas. Es importante recalcar que se obtuvieron los datos para cuando los tipos de suelo contenían un valor mínimo de humedad, note que cuando se suministra el agua se obtiene un valor máximo de humedad inmediatamente, pero una vez que se drena el agua se estabiliza en un solo valor de humedad del suelo de la planta.

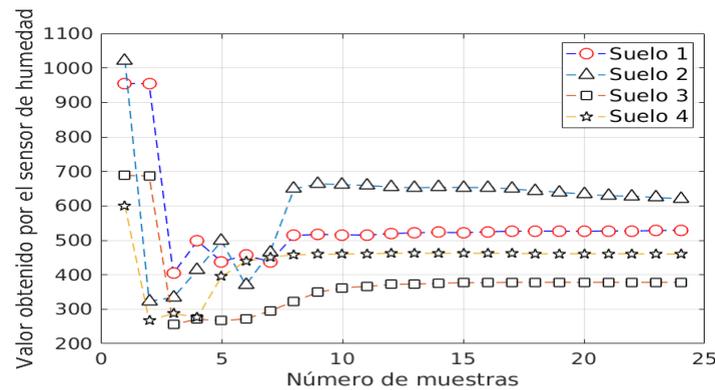


Figura 9. Serie de datos que representan la capacidad que tienen cuatro tipos de suelo para conservar la humedad.

Otra de las pruebas que se realizaron para identificar el comportamiento de la humedad en cada tipo de suelo fue el variar la cantidad de agua que se suministra a cada maceta. En la Figura 10 se presenta la capacidad que tiene cada suelo para conservar la humedad cuando se hace el riego con 200 ml, 300 ml y 400 ml., y se obtuvieron datos del sensor de humedad del suelo para cada cantidad. La Figura 11 muestra el algoritmo que se emplea para el encendido automático de la bomba, el algoritmo define una región de recuperación la cual está limitada por un intervalo de tiempo en el que se suministra agua a la planta y un intervalo de porcentajes de humedad, el porcentaje de humedad “*p*” es el 100% cuando el valor de la lectura del sensor de humedad del suelo se aproxima a cero.

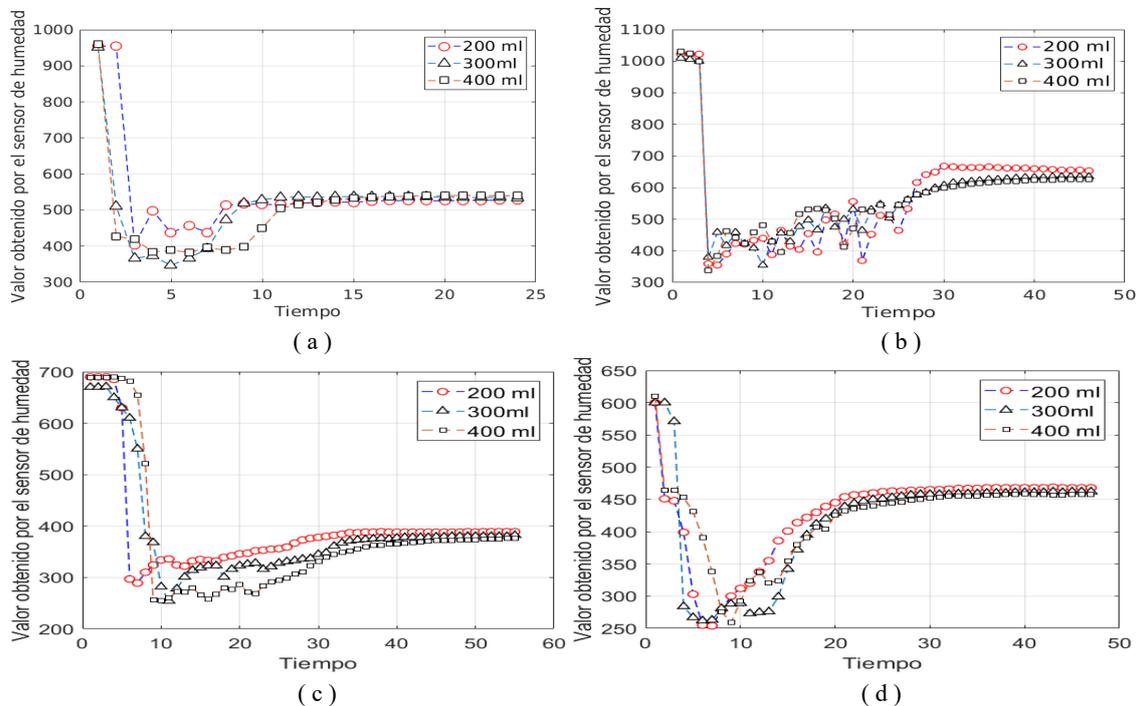


Figura 10. (a) Datos obtenidos del sensor de humedad para el suelo 1. (b) Datos obtenidos del sensor de humedad para el suelo 2. (c) Datos obtenidos del sensor de humedad para el suelo 3. (d) Datos obtenidos del sensor de humedad para el suelo 4.

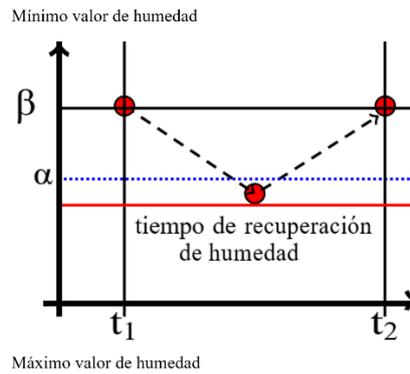


Figura 11. Modelo para recuperar la humedad del suelo de la planta.

La Ecuación 1 obtiene el porcentaje de humedad a partir de la de la lectura que registra el sensor YL-69 y donde “ w ” es la magnitud que se genera con el sensor YL-69.

$$w = 100 - \frac{100w}{1023} \quad (1)$$

La variable que se estima para controlar la humedad del suelo es el tiempo “ t ” que debe permanecer encendida la bomba de agua. El modelo visto en la Figura 11, define una región de recuperación la cual está limitada por un intervalo de tiempo en el que se suministra agua a la planta y un intervalo de porcentaje de humedad, el intervalo de porcentaje de humedad está limitado por el límite superior β y α como límite inferior. Cuando la lectura del sensor obtiene un valor de humedad igual o superior a este intervalo significa que la planta requiere de agua y se activa la bomba, por lo tanto, el porcentaje de humedad en el suelo de la planta se mantiene en un intervalo de tolerancia definido por β y α .

En la Figura 12 se muestra el diagrama de instalación del dispositivo electrónico para el cuidado de la planta, los módulos que constituyen el dispositivo son los sensores que se instalan en algún punto de la periferia de la planta, la manguera de agua que se instala alrededor de la planta, un recipiente donde se almacena y se bombea el agua, así como el dispositivo electrónico. La manguera que conduce el agua hacia la maceta de la planta se instala alrededor de la planta y se hacen perforaciones para que el riego pueda ser uniformemente distribuido y se aprovecha la mayor cantidad de agua, la Figura 13 muestra una imagen del dispositivo con los componentes electrónicos conectados, al que llamaremos desde ahora Nodo.

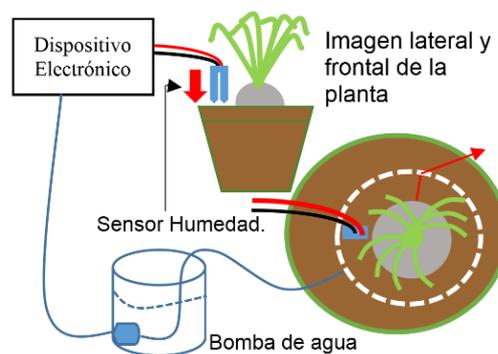


Figura 12. Diagrama de instalación del dispositivo electrónico para el cuidado de una planta de ornato.

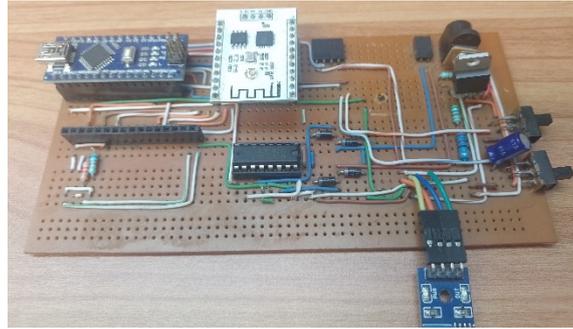


Figura 13. Conexión del dispositivo electrónico para el cuidado de una planta de ornato.

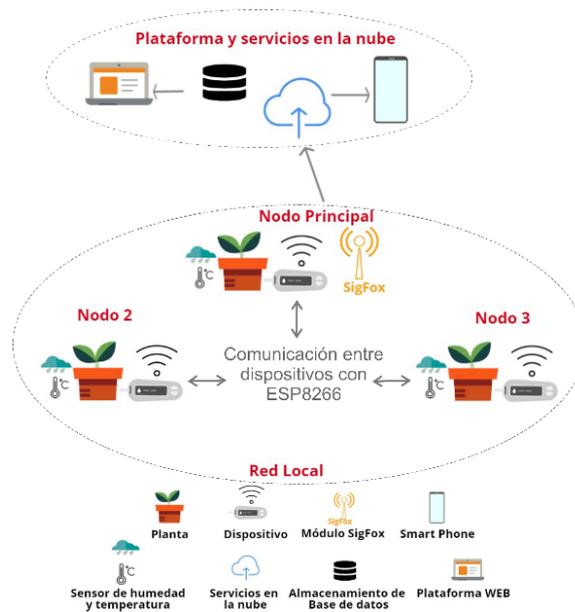


Figura 14. Instalación del dispositivo electrónico para el cuidado de una planta de ornato.

3.4. Esquema y diagrama de operación del dispositivo

El funcionamiento y operación del dispositivo IoT permite conectarse con otros nodos secundarios gracias al uso del módulo ESP8266, dado que es posible configurar direcciones IP por cada módulo y su configuración con *WebSocket* (tecnología que proporciona un canal de comunicación entre diversos dispositivos por medio de un protocolo de comunicación TCP/IP). De modo que para la comunicación entre múltiples nodos es necesario generar el *WebSocket* en un nodo principal/central para que el resto de los nodos puedan enviar y recibir datos, de esta manera los nodos están comunicándose en una red local inalámbrica. En la Figura 14, se puede observar el esquema de operación con los componentes y conexiones utilizadas, el procedimiento es el siguiente:

1. Cada nodo está conformado por una planta, el dispositivo propuesto, el sistema de bombeo de agua, los sensores y el módulo ESP8266.
2. Existe un nodo principal, el cual contiene los componentes mencionados anteriormente, además del módulo SigFox que será quien eventualmente pueda enviar los datos recolectados por el resto de los nodos. Este nodo, actúa como nodo servidor entre los módulos ESP8266 con una topología de estrella.
3. Cada nodo incluido el nodo principal, realiza el monitoreo del sensor de temperatura y el sensor de humedad en la tierra y activa el sistema de bombeo cada que sea necesario.
4. En este paso, el usuario puede conectarse vía WiFi utilizando la app en su *smartphone*, a cualquiera de estos nodos para ver en tiempo real los datos recopilados y monitorear el estado de la planta.

5. Cada nodo incluido el nodo principal, envía por medio del módulo ESP8266 la lectura de los sensores de manera periódica al nodo principal, el intervalo de tiempo puede ser programado según las necesidades del usuario, en este caso el tiempo programado fue cada 30 minutos.
6. El nodo principal recopila los datos recibidos del resto de los nodos en el intervalo de tiempo programado y envía por medio del módulo SigFox esta información a los servicios en la nube, en donde son almacenados y posteriormente pueden ser graficados.

En cuanto al uso de energía eléctrica para cada nodo, existe la posibilidad de utilizar diversas maneras de suministrar voltaje al dispositivo para que funcione permanentemente, ya que como se puede observar en el diagrama de componentes del dispositivo en la Figura 1, la fuente requiere solamente 5V, por lo que es posible conectar el dispositivo a la línea eléctrica por medio de un eliminador de voltaje, otro modo es utilizando baterías recargables del tipo 18650 (esta fue la manera utilizada en las pruebas) o bien utilizar pequeños paneles solares de 5V que cada vez son más comunes de encontrar.

4. Resultados

En base a las pruebas y experimentaciones realizadas con los cuatro tipos de suelo y las diversas cantidades de agua suministrada observadas en las Figuras 8 y 9, se determina como resultado principal de la investigación que independientemente de la cantidad de agua que se suministra, el suelo presenta la misma capacidad para conservar la humedad, por lo que es importante resaltar que al hacer el riego con 200 ml es suficiente para conservar y retener por más tiempo la humedad de la planta y ahorrar agua.

Así mismo, el contar con un dispositivo que este generando datos estadísticos de manera continua, permite llevar el almacenamiento de los datos a modo de historial, por lo que fue posible verificar momentos específicos de lecturas de mayor o menor nivel de humedad e identificando fenómenos externos que lo ocasionan, tales como aumento de temperatura o ventilación en el área de estudio.

Como parte de los experimentos realizados se pudo determinar el intervalo de tiempo adecuado para un estudio eficiente de la información presentada, en este caso, el intervalo para la toma de datos que fueron enviados utilizando la tecnología de SigFox al servidor web fue cada hora, de esta manera existen 24 registros por día/sensor en el sitio web.

Como puede observarse en la Figura 8, los tipos de suelo 3 y 4 (tierra negra y tierra orgánica respectivamente) son los tipos de suelo que presentaron los mayores niveles de retención de humedad. Los análisis de los resultados se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Niveles de retención de humedad.

	Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4
Nivel máximo de humedad	950	1020	690	600
Nivel mínimo de humedad	410	320	250	260
Promedio nivel de retención de humeada	520	630	390	470

Fuente: Elaboración propia.

En base en los resultados presentados en la Tabla 3, se determina que los tipos de suelo que presentaron un mayor nivel de retención de humedad son los siguientes:

- 1°. Suelo 3 – Tierra negra
- 2°. Suelo 4 – Tierra orgánica
- 3°. Suelo 1 – Tierra convencional
- 4°. Suelo 2 – Tierra preparada

Cabe destacar que un menor nivel registrado por el sensor representa un mayor nivel de retención de humedad en el suelo, tal como en el caso del suelo 3 y suelo 4, los cuales son apropiados para este tipo de plantas de ornato, mientras que el suelo 2 no fue favorecido con los resultados obtenidos al generar niveles por encima de las 600 unidades y que muestran principios de resequeidad en el suelo.

Por la parte del dispositivo final, es importante resaltar que presenta características que ayudan a que se instale bajo cualquier espacio donde los cables del sensor de humedad y temperatura puedan tener acceso o dentro de la periferia de la planta. El tiempo de conexión entre el dispositivo y el envío de los datos al servidor web es instantáneo, en tiempo real, enviando la lectura del sensor de manera eficiente gracias al servicio de SigFox, en

comparación con otros estudios y proyectos [15, 16, 17] que realizan la lectura de los datos en los sensores, procesan la información en tarjetas de circuitos integrados como modelos en Arduino y tarjetas ESP8266 y esperan contar con una buena señal de internet a través de señales con WiFi para enviar a la nube o sitios web.

Finalmente, el proyecto propuesto permite:

- Integración de diversas tecnologías que son ampliamente utilizadas en áreas del IoT, como Arduino y su compatibilidad con los módulos ESP8266, tecnologías web para la visualización de datos en línea, aplicaciones móviles con sistemas Android y con la plataforma SigFox.
- Registro y almacenamiento de parámetros recibidos del sensor en un sitio web y aplicación móvil, que es capaz de generar gráficas a partir de los datos recibidos.
- Un sistema de bombeo que permite llevar el control de riego de manera eficiente, independientemente del tipo de sustrato utilizado.
- Determinar el tipo de sustrato que fue más apropiado para retener la humedad en el suelo por un tiempo más prolongado.
- Infraestructura de bajo costo, escalable y susceptible a mejoras.

5. Conclusiones

En este trabajo, se ha presentado un dispositivo diseñado para el Internet de las Cosas con el objetivo de monitorear y mantener la humedad del suelo en las macetas de las plantas de ornato que podemos encontrar en viviendas, oficinas y negocios, además, obtener la humedad y temperatura del ambiente donde se encuentra la planta de ornato. El dispositivo puede instalarse fácilmente y los componentes que se usan en su diseño pueden obtenerse en el mercado y a un precio asequible. El adaptar la tecnología SigFox para este problema es apropiado ya que brinda un gasto reducido por el servicio de la red, ya que utiliza la tecnología UNB (*Ultra Narrow Band* o Banda Ultra Estrecha) que es capaz de transmitir datos a bajas velocidades (de 10 a 1.000 bits por segundo) utilizando muy poca potencia. De acuerdo con nuestros experimentos podemos observar que independientemente la cantidad de agua que se use para hacer el riego, la humedad alcanza un punto estacionario por la capacidad que tiene el suelo de conservar la humedad. Por tal motivo es importante considerar el intervalo de tiempo en el que se tiene que regar la planta, ya que, según lo observado, el regar con mayor cantidad de agua no determina que el suelo conserve mayor humedad, sino que es determinado por las características propias del suelo. Por lo tanto, un sistema a pequeña escala que cuide de forma automática las plantas de ornato provee beneficios a los usuarios ya que podrían disfrutar de una atmósfera confortable sin la necesidad de preocuparse del riego de sus plantas. Desde esta perspectiva el trabajo futuro de esta investigación es el diseño de una base de datos donde se almacene la información de diferentes tipos de suelo y la cantidad de agua que requieren las plantas, para que de esta forma se determine la frecuencia del riego de la planta de acuerdo con las necesidades de la misma.

6. Agradecimientos

El segundo y último autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) el apoyo para realizar este proyecto (Proyecto: 256126). Los primeros cuatro autores agradecen al Tecnológico Nacional de México / ITS de Irapuato por el apoyo brindado para este proyecto.

7. Referencias

- [1] Chandakkar, P. S., Li, P., Ding, P. L. K., Li, B. (2017). *Strategies for re-training a pruned neural network in an edge computing paradigm*. IEEE International Conference on Edge Computing (EDGE). Honolulu, HI, USA. <https://doi.org/10.1109/IEEE.EDGE.2017.45>
- [2] Condry, M. W., Nelson, C. B. (2016). Using smart edge iot devices for safer, rapid response with industry iot control operations. *Proceedings of the IEEE*, 104 (5), 938–946. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2513672>
- [3] Liu, L. (2018). IoT and a sustainable city. *Energy Procedia*, 153, 342-346. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.080>

- [4] Orrie, O., Silva, B., Hancke, G. P. (2015). *A wireless smart parking system*. 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Yokohama, Japan. <https://doi.org/10.1109/IECON.2015.7392741>
- [5] Vimal, P. V., Shivaprakasha, K. S. (2017). *IoT based greenhouse environment monitoring and controlling system using Arduino platform*. International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT). Kerala, India. <https://doi.org/10.1109/ICICT1.2017.8342795>
- [6] Othman, M. F., Shazali, K. (2012). Wireless sensor network applications: A study in environment monitoring system. *Procedia Engineering*, 41, 1204–1210. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.302>
- [7] McRoberts, M. (2013). *Beginning Arduino*. Apress.
- [8] Azhar, F. C., Irawan, B., Saputra, R. E. (2017). *Controlling and monitoring ornamental plants care remotely using android application*. IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob). Bandung, Indonesia. <https://doi.org/10.1109/APWiMob.2017.8283993>
- [9] Thomsen, J. D., Sønderstrup-Andersen, H. K. H., Müller, R. (2011). People– plant relationships in an office workplace: perceived benefits for the workplace and employees. *HortScience*, 46 (5), 744–752. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.5.744>
- [10] Gómez Lopera, F. (2005). Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 37 (144), 417-436. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/75554>
- [11] Xaver, A., Zappa, L., Rab, G., Pfeil, I., Vreugdenhil, M., Hemment, D., Dorigo, W. A. (2020). Evaluating the suitability of the consumer low-cost Parrot Flower Power soil moisture sensor for scientific environmental applications. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 9, 117–139. <https://doi.org/10.5194/gi-9-117-2020>
- [12] Perez, M. S., Carrera, E. (2015). Time synchronization in Arduino-based wireless sensor networks. *IEEE Latin America Transaction*, 13 (2), 455-461. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7055564>
- [13] Wu, T. H., Chang, C. H., Lin, Y. W., Van, L. D., Lin, Y. B. (2016). *Intelligent plant care hydroponic box using IoTalk*. IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). Chengdu, China. <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData.2016.94>
- [14] González Cárdenas, J. O., Figueroa Millán, P. E., Amezcua Valdovinos, I., Benavides Delgado, 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://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8415585>
- [15] Gómez, J. E., Castaño, S., Mercado, T., García, J., Fernández, A. (2018). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e innovación*, 5 (1), 24-31. <http://dx.doi.org/10.21897/23460466.1101>
- [16] 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 Maestría]. Tecnológico Nacional de México. <https://dspace.colima.tecnm.mx/handle/123456789/721>
- [17] Chanchí Golondrino, G. E., Ospina Alarcón, M. A., Campo Muñoz, W. Y. (2020). Sistema IoT para el seguimiento y análisis de la intensidad de luz en plantas de interiores. *Research in Computing Science*, 149 (11), 317-327.
- [18] Bhuvaneshwari, T., Yao, J. T. H. (2014). *Automated greenhouse*. IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA). Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/ROMA.2014.7295887>
- [19] Grokhotkov, I. (2017). *Esp8266 Arduino core documentation*. https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/arduino-esp8266/docs_to_readthedocs/arduino-esp8266.pdf
- [20] Santos, R., Santos, S. (2019). *Ultimate Guide for Arduino Sensors/Modules*. http://tecnologiax.altervista.org/wp-content/files/Ultimate_Guide_Arduino_Sensors_Modules.pdf
- [21] STMicroelectronics. (1993). *L293b L293e push-pull four channel drivers*. <http://www.datasheet.es/PDF/69629/L293B-pdf.html>
- [22] Components101. (2021). *16x2 LCD Module*. <https://components101.com/displays/16x2-lcd-pinout-datasheet>

- [23]Soni, P., Suchdeo, K. (2012). Exploring the serial capabilities for 16x2 lcd interface. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2 (11), 109-112.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.414.4844&rep=rep1&type=pdf>
- [24]Texas Instruments. (2020). *LM317 3-Terminal Adjustable Regulator*.
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf?ts=1657254748901>
- [25]Anagnostopoulos, G. G., Kalousis, A. (2019). *A reproducible analysis of rssi fingerprinting for outdoor localization using SigFox: Preprocessing and hyperparameter tuning*. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Pisa, Italy. <https://doi.org/10.1109/IPIN.2019.8911792>
- [26]SigFox. (2019). *Cobertura de SigFox*. <https://www.sigfox.com.py/cobertura>
- [27]WND. (2019). *Operador Sigfox para México*. <https://www.wndgroup.io/mexico>
- [28]C. SIGFOX. (2019). *¿Qué es Sigfox?* <https://www.sigfox.com.py/que-es-sigfox>
- [29]Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., Meyer, F. (2019). A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment. *ICT express*, 5 (1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005>
- [30]Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., Garruña-Hernández, R. (2016). Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, 50 (5), p.p. 617-631.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000500617