

MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN UN LABORATORIO DE EXPERIMENTACIÓN DE CANNABIS USANDO TECNOLOGÍAS DE IoT

Maria Castrillón, Cristian Osorio
Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia.

Resumen— El cannabis con fines medicinales ha sido cultivado en Colombia desde hace seis años, siendo este país el líder exportador en Latinoamérica en la industria del cannabis medicinal. Uno de los problemas que han venido presentando los cultivos indoor de cannabis a lo largo del tiempo es la toma de mediciones de variables ambientales en tiempo real y de forma autónoma, además, la implementación de tecnologías en estos cultivos presenta un alto costo, dificultando la implementación de los mismos y en mayor parte para los pequeños productores que no poseen los recursos suficientes para tecnificar sus cultivos. Para dicha problemática se planteó implementar un conjunto de sensores conectados a un sistema microcontrolado que permita medir variables de temperatura y humedad relativa, estos datos son enviados a un servidor local y en la nube. Finalmente, el usuario los consulta y visualiza en una DashBoard. En un mes se analizó el buen funcionamiento que tuvo el sensor con respecto al termómetro e higómetro que se tenía en las instalaciones del cultivo, teniendo un poco más de precisión el sensor AM2305. Tener el completo control sobre un cultivo indoor es la principal ventaja, ya que se tiene un mejor monitoreo de plagas y enfermedades. Además, ayuda a tomar decisiones adecuadas y a brindar un óptimo manejo al cultivo.

Palabras clave— IoT, cultivo indoor, cannabis, agricultura de precisión, temperatura, humedad relativa.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cultivo indoor o en interiores se utilizan para tener controlado el ambiente de

cualquier tipo de planta, ya que se puede regular parámetros internos como son la temperatura, humedad relativa, tipo de luz, cantidad de horas de luminosidad, entre otros. El buen resultado de un cultivo indoor de cannabis va a estar dado en gran parte a la forma en que los cultivadores monitoreen los parámetros que afectan el crecimiento sano de las plantas.

La posición geográfica de Colombia hace que sea un país apetecido para los cultivos indoor ya que al estar en un trópico brinda la posibilidad de obtener 12 horas de sol. Siendo la temperatura poco cambiante entre el día y la noche, además, en algunas regiones el beneficio de los suelos puede ser mayor porque se encuentran nutrientes que ayudan a la planta a crecer en óptimas condiciones [1]. Estos cultivos proporcionan una gran mejora puesto que se tienen cuatro cosechas con respecto a las dos que se obtienen en los cultivos de cielo abierto en un mismo intervalo de tiempo [2], esto debido a que se tiene un mejor control de las variables ambientales favoreciendo el sano crecimiento y desarrollo, además, no es necesario contar con grandes extensiones de tierra ya que en $1m^2$ se puede cultivar una cantidad suficiente de plantas respecto a la cantidad de plantas que se deben sembrar en un cultivo de cielo abierto, para obtener la misma porción de producto final. Este análisis se observa en la Tabla 1 donde se realiza un estudio de la diferencia de los datos por área entre los cultivos.

Tabla 1. Área cultivada según tipo de cultivo, cielo abierto/ invernadero para obtener 30T de flor seca al año [3].

Tipo de cultivo	Cantidad de plantas/ha	Área en (ha)	Kg/Planta	n° cosechas	Flor seca anual (Kg)
Cielo Abierto	8000	63	0.3	2	30000
Invernadero	8000	25	0.5	3	30000

De acuerdo con la ley 1787 de 2016 reglamentada por el Decreto 613 del 2017 describe los requisitos para expedir las licencias de cannabis en el territorio colombiano, con esta ley el estado asume la regulación, producción, fabricación y las actividades de control de los cultivos, para el uso legal de las semillas se debe solicitar unos permisos ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), para la legalidad en los cultivos se solicitan las licencias pertinentes ante el Ministerio de Justicia y del Derecho, para la fabricación de los productos derivados del cannabis se requiere los permisos ante el Ministerio de Salud y finalmente si el cultivo es para fines psicoactivos se pide un cupo ante el Fondo Nacional de Estupefacientes (FNE) [4].

La agricultura de precisión es la tendencia que viene marcando la pauta en lo referente a la maximización de los recursos para los cultivos de todo tipo de especies, permitiendo controlar el uso óptimo de recursos como el agua y fertilizantes, logrando tener ambientes más propicios y una mayor cantidad de producción [5]. La necesidad de incrementar el rendimiento en los cultivos conlleva a la creación de sistemas de monitoreo de variables ambientales, uno de los problemas que han presentado los cultivos indoor de cannabis es la toma de mediciones de estas variables en tiempo real y de forma automática, también la implementación de estas tecnologías presenta un alto costo dificultando la producción de los usuarios que cuentan con bajos recursos para tecnificar sus cultivos. Como consecuencia a esto, la calidad y la producción no ha sido la más óptima y eficiente, viéndose reflejado en una baja calidad del cannabis cosechado, tal vez se deba a la falta de un sistema de instrumentos que permitan al agricultor conocer cuando y como producir. El uso de sensores ha tenido un impacto positivo en la agricultura de precisión puesto que ayudan a tomar decisiones adecuadas y a brindar un óptimo manejo al cultivo. En trabajos anteriores se han implementado sistemas de monitoreo de variables ambientales de forma remota con una red inalámbrica WiFi, algunos de estos sistemas se componen por unos nodos de sensores y un

dispositivo líder encargado de transmitir los datos adquiridos a la nube (IoT) [6].

Para abordar dicha problemática se plantea implementar un sistema de medición de variables ambientales de temperatura y humedad relativa en un laboratorio de experimentación de cannabis ubicado en La Ceja, Antioquia. El sistema contiene tecnología WiFi y el protocolo de comunicación MQTT. Inicialmente se compara el funcionamiento de un termómetro e higómetro, dos sensores; *DHT22* y *AM2305* para validar su eficiencia. Luego de elegir el sensor de mejor respuesta y precisión, se conectan los sensores al *ESP8266* siendo este el encargado de adquirir y procesar la información obtenida, posteriormente envía los datos a un servidor local y remoto. Para realizar este proceso se desarrollan dos códigos en *Python*, siendo uno el encargado de capturar los datos y otro en abrir la conexión y enviar los datos mediante el protocolo MQTT. Se crea un servidor en *Google Cloud* para almacenar la base de datos en *MySQL* e implementar también el protocolo de comunicación MQTT, seguidamente se crean dos códigos en *Python* uno para recibir los datos y otro para almacenar las variables en la base de datos. También se crea un conjunto de alertas que indican cuando el cultivo se sale de un rango establecido, el usuario podrá acceder a una dashboard para la visualización y control de la información de las variables ambientales a medir. Esto ayudará a la toma correcta de decisiones a futuro. En la Figura 1 se muestra de forma gráfica lo explicado.

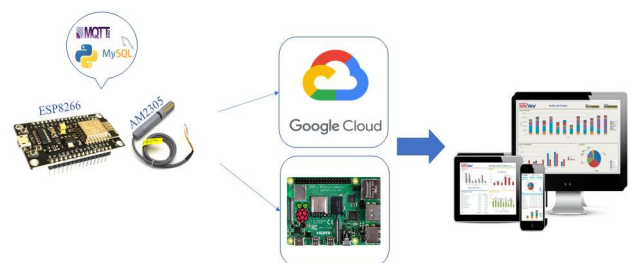


Figura 1. Diagrama general del sistema

II. METODOLOGÍA

II-A. Análisis

Uno de los problemas que han venido presentando los cultivos indoor de cannabis a lo largo del tiempo es la toma de mediciones de variables ambientales en tiempo real y de forma autónoma, además, la implementación de tecnologías en estos cultivos presenta un alto costo, dificultando la implementación de los mismos y en mayor parte para los pequeños productores que no poseen los recursos suficientes para tecnificar sus cultivos. Como consecuencia a esto, la calidad y la producción no ha sido la más óptima y eficiente, viéndose reflejado en una baja calidad del cannabis cosechado, tal vez se deba a la falta de un sistema de instrumentos que permitan al agricultor conocer cuando y como producir [7], [8].

El monitoreo de estos no es eficiente ya que el margen de error se incrementa debido a la baja precisión de las herramientas de medición, además, los datos de las mediciones que se obtienen diariamente se almacenan de forma manual y la falta de tecnificación y control junto con la brecha tecnológica en los cultivos son las principales causas que conllevan a la mayoría de las problemáticas en el sector [7].

Se propone diseñar un sistema de medición de variables ambientales, el cual soluciona en gran medida la problemática que se ha identificado.

II-B. Software y hardware

En el sistema estuvieron presentes componentes electrónicos, hardware y software, tales como; sensores, ordenador de placa reducida y módulos WiFi. En la Figura 1 se presenta el diagrama general del sistema de medición de variables ambientales, propuesto desde la etapa de diseño.

Para la adquisición, captura y envío de los datos se coloca de manera física en el laboratorio de

experimentación de cannabis un módulo WiFi *ESP8266*, un sensor *AM2305* y un ordenador de placa reducida *Raspberry PI Plus* [9], con Ubuntu como SO. Este proyecto implementa el protocolo de comunicación MQTT [10]. Para el almacenamiento de la base de datos se usa MySQL y finalmente para visualizar la información se hace uso de una dashboard en *Grafana*.

II-C. Desarrollo

Sobre el módulo WiFi *ESP8266* se desarrolló un código en Python encargado de publicar las lecturas de los sensores a través del protocolo de comunicación MQTT.

Inicialmente se crean las variables para ingresar las credenciales de red y la dirección IP de la *Raspberry PI*. Ahora para crear un cliente MQTT es necesario tener el ID único del *ESP8266*, guardando este en una nueva variable.

Se crean dos tópicos; uno para publicar la temperatura y otro para publicar la humedad relativa en el *ESP8266*, además, se configura el tiempo que tardará en publicar los datos, en este proyecto se trabajó con un tiempo de 15 minutos por dato. Luego se conecta el *ESP8266* a la red local y se inicia el sensor en el pin GPIO2. Es importante mencionar que, al realizar pruebas se identificó que este pin era el indicado ya que con otros pines se presentaban problemas al momento de tener una caída de energía. Cuando ocurre esto el sensor deja de enviar los datos, aunque tenga de nuevo energía.

Dado el caso que el *ESP8266* se desconecte de la *Raspberry PI* y no se logre publicar las lecturas de los datos, se crea una función para reiniciar y reconectar.

También se crea una función para el cliente MQTT que se conecta con la *Raspberry PI*. Esta comunicación requiere de un usuario y una contraseña. También se crea una función para leer el sensor, el cual retorna la variable de temperatura y

humedad relativa cada 15 minutos. Finalmente se publica las lecturas usando el método *publish()*, acepta con argumentos el tópic y el mensaje de la siguiente manera:

```
cliente.publish(topic_pub_temp, temp)
cliente.publish(topic_pub_hum, hum)
```

Para almacenar la información en la base de datos se crea una tabla en MySQL con cuatro columnas (ID, Temperatura, Humedad y Fecha). Se publican los datos desde el ESP8266 por medio del protocolo MQTT. Es decir, guarda los datos del sensor, se conecta a un servidor y envía a través de MQTT un mensaje. Este se envía paralelamente al servidor local y en la nube.

Se usa un software llamado *Grafana* para la visualización de los datos en la dashboard, este interactúa con la base de datos creada en MySQL.

II-D. Implementación

La interacción del sistema con el usuario se hace mediante una dashboard, el cual se ingresa a través de una URL. En la Figura 2 se muestra el campo donde el usuario debe ingresar un rango de fechas, como resultado se obtiene la Figura 3 siendo el análisis de la información filtrada por este periodo. Además, para facilitar la interpretación al usuario se adiciona una gráfica donde se visualiza el valor promedio de la temperatura y la humedad relativa.

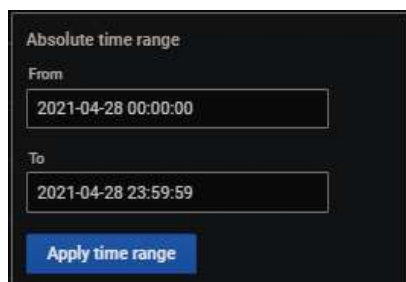
A screenshot of a Grafana dashboard interface. It features a dark theme. At the top, there is a section titled "Absolute time range". Below this, there are two input fields: "From" with the value "2021-04-28 00:00:00" and "To" with the value "2021-04-28 23:59:59". At the bottom of this section is a blue button labeled "Apply time range".

Figura 2. Campo que filtra la información por fecha



Figura 3. Dashboard

Como se ha mencionado anteriormente se dispuso de un ambiente de pruebas en un cultivo de experimentación de cannabis de aproximadamente $1,44m^2$, este se observa en la Figura 4, en él se instalaron dos sensores de temperatura y humedad relativa ubicados a una distancia $7cm$ aproximadamente de la planta de cannabis. El resultado de la implementación del ambiente de prueba se muestra en la Figura 5.



Figura 4. Cultivo de experimentación de cannabis



Figura 5. Ambiente de prueba

II.E. Evaluación

Para la evaluación del sistema se diseñó una encuesta que calificó el desempeño final que obtuvo el aplicativo durante la etapa de pruebas. Esta encuesta de satisfacción permite analizar qué tan agradable es la experiencia del usuario con el aplicativo, además, identificar mejoras para trabajos futuros.

El sistema lo evaluó una persona ya que era el único encargado de realizar un control a el cultivo de cannabis, además, tenían un conocimiento previo en lo que consistía todo el trabajo. Se le envió una URL para ingresar a la dashboard. Una vez tuviera una interacción cercana con el aplicativo se les pidió diligenciar la encuesta de satisfacción que identifico fortalezas y debilidades del sistema. Las preguntas realizadas al encuestado fueron las siguientes:

1. ¿Ha presentado inconvenientes al momento de consultar los datos en la DashBoard?
2. ¿Los valores obtenidos de temperatura y humedad relativa son acertados?
3. ¿Considera que la implementación de sistemas de monitoreo de variables ambientales usando tecnologías de IoT benefician los cultivos indoor de cannabis?

4. ¿Usted invertiría en este sistema para su cultivo?
5. Usted como usuario ¿Cómo califica la funcionalidad del sistema?
6. ¿Tiene alguna sugerencia o mejora?, ¿Cuál?

En la Tabla 2 se evidencian los resultados obtenidos. Finalmente, la respuesta del usuario para la última pregunta fue la siguiente: “*Sugiero que los sensores y la Raspberry Pi sean conectados por medio de baterías.*”

Tabla 2. Resultados de la encuesta

Pregunta	Respuesta			
	SÍ	No	Casi Siempre	Casi Nunca
1		X		
2	X			
3	X			
4	X			
5	X			

Las fortalezas que fueron identificadas por el usuario mediante la encuesta de satisfacción fue la eficiencia y oportuna respuesta del sensor instalado en el cultivo, la lectura arroja parámetros precisos de temperatura y humedad relativa, brindando un mejor control y la automatización del cultivo indoor. Las respuestas expresan claramente el éxito que obtuvo el sistema en su ejecución. Por otra parte, el usuario realizo una sugerencia en cuento a la conexión eléctrica de los sensores, se solicita que esta no sea por medio de una toma eléctrica sino mediante una batería, para evitar problemas frente a caídas de energía.

III. RESULTADOS

Se tiene un sistema que permite al usuario mediante una dashboard visualizar la información de temperatura y humedad relativa en tiempo real. El usuario ingresa un rango de tiempo inicial y uno final para filtrar los datos que se necesitan consultar en un determinado periodo.

Cuando se llevó a cabo la comunicación SSH con la Raspberry PI inicialmente se presentaron bloqueos debido a permisos con el proveedor de servicios de internet. Con respecto a todo el conjunto del sistema de medición de variables ambientales presento un buen funcionamiento, enviando de forma correcta y paralela los datos a los servidores; local y en la nube. Además, el broker MQTT también obtuvo un buen desempeño garantizando una fiel comunicación.

Durante una semana se realizaron pruebas con dos tipos de sensores DHT22 y AM2305 con el fin de comparar su rendimiento dentro del cultivo de cannabis. Al analizar la información obtenida por ambos sensores se concluyó que el sensor que mejor comportamiento obtuvo fue el AM2305 ya que este sensor no llegaba a saturarse en la noche.

Finalmente, al interior del laboratorio de experimentación de cannabis el sistema fue sometido a un mes de pruebas. En las Figuras 6 y 7 se muestra el comportamiento de los datos obtenidos de las variables de temperatura y humedad relativa en el periodo de pruebas.

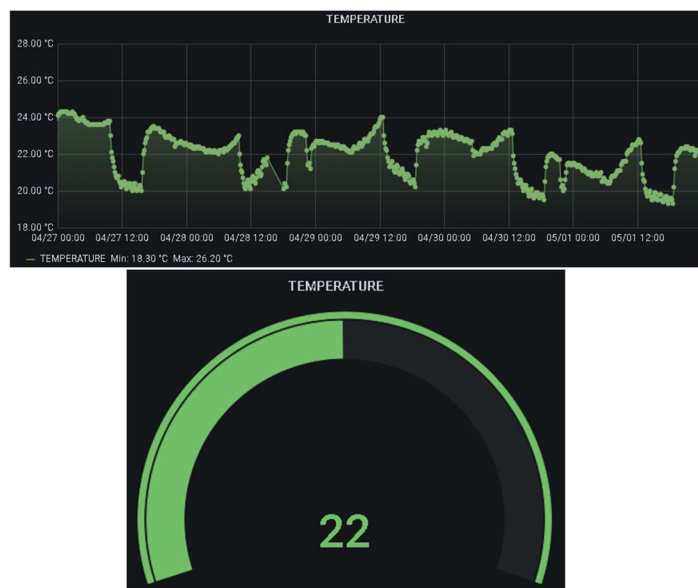


Figura 6. Dashboard correspondiente a la variable temperatura



Figura 7. Dashboard correspondiente a la variable humedad relativa

Es importante tener en cuenta que la temperatura como la humedad relativa cambian por factores climáticos y factor humano. Además, los dispositivos eléctricos presentes dentro del cultivo también pueden afectar estas variables. Los bombillos, ventiladores, extractores y otros instrumentos emiten calor, por lo que la temperatura y humedad relativa se ven afectadas. Por cada persona que ingrese a la zona del cultivo la temperatura aumenta 2°.

Los niveles de humedad más altos se presentan en la madrugada, mientras que los niveles de temperatura más altos se presentan entre las 11:00am hasta las 6:00pm y los más bajos entre las 10:00pm y 6:00am. De acuerdo a las etapas de la planta se necesitan parámetros de temperatura y humedad diferentes por lo que se debe jugar con las variables climáticas para encontrar el microclima adecuado, teniendo en cuenta que en la noche la temperatura y humedad aumentan ya que estamos ubicados a 1850m al nivel del mar. Por esta razón el usuario realiza una programación para que las variables internas y externas del cultivo indoor creen un microclima conveniente para la adaptación de las genéticas que se trabajan en las plantas.

En la Tabla 3 se visualiza una documentación de los datos de temperatura y humedad relativa durante un día completo, con el fin de realizar una comparación del comportamiento alcanzado por el sensor y el termómetro e higómetro casero. De acuerdo con esta información recopilada durante un mes se analiza el buen funcionamiento que tuvo el sensor con respecto al termómetro e higómetro que se tenía en las instalaciones del cultivo de cannabis.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la humedad en horas de la madrugada es del 100% y la temperatura es de 16°C. Conforme a los datos obtenidos en la Tabla 2 indica que la programación interna está funcionando correctamente. La temperatura máxima y mínima obtenida por este análisis fue de 21.2°C y 23.5°C correspondientemente, mientras que el porcentaje máximo de humedad relativa fue de 90% y mínima de 81.4%, siendo estos, datos acordes a lo que el usuario espera.

Este sistema cuenta con una alerta que indica cuando el cultivo se sale de los parámetros adecuados para tener una planta sana, es decir, cuando la temperatura es mayor a 26° y la humedad relativa es mayor a 80% los valores se visualizan de color rojo, indicando al usuario que debe visitar el cultivo para analizar la situación y tomar decisiones oportunas y rápidas para evitar gatos y pérdidas.

Tabla 3. Sensor AM2305 vs Termómetro e higómetro

Hora	Sensor AM2305		Termómetro e Higómetro	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
12:00am	23.5	84.5	23.3	84.4
1:00am	23.1	84.7	23	84.5
2:00am	23	84.4	23	84
3:00am	22.8	84.4	22.9	84
4:00am	22.8	85	22.9	85.2
5:00am	22.8	81.4	22.9	81.7
6:00am	22.3	83.9	22	83.7
7:00am	22.1	84.2	22	84.3
8:00am	22.2	84.6	22	84.5
9:00am	22.4	87.5	22.2	87.7

Hora	Sensor AM2305		Termómetro e Higómetro	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
10:00am	22.4	83.5	22.2	83.5
11:00am	22.6	82.7	22.5	82.9
12:00pm	21.2	88.9	21	88
1:00pm	21.5	90	21.3	89
2:00pm	21.9	89.5	20.8	89.8
3:00pm	22	89.4	22	89.7
4:00pm	22.2	89.1	22	88.7
5:00pm	22	89.6	21.8	89.3
6:00pm	23.2	84.8	23	84
7:00pm	23.2	83.1	23	83.5
8:00pm	23.1	82.7	23	82.9
9:00pm	23.2	82.2	23	81.9
10:00pm	22.8	82.6	22.9	82.9
11:00pm	22.8	82.8	22.9	82.9
12:00pm	22.8	83	22.9	83.2

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados evidenciados en la sección anterior se concluye que los sistemas IoT de este tipo tienen un gran impacto, no solo desde el punto de vista operativo, sino también permitiendo aliviar tareas que realiza un usuario cada día a un determinado tiempo.

Es importante contar con una visibilidad en tiempo real de todo el comportamiento de operación de variables ambientales de un cultivo indoor, ya que facilita la información necesaria para tomar decisiones adecuadas y brindar un óptimo manejo al cultivo. Además, el sistema fue diseñado para que sea escalable a futuro y se pueda implementar en cultivos extensos.

La agricultura de precisión implementa tecnologías con la finalidad de aumentar el rendimiento y la rentabilidad, además, reduce los niveles de insumos que son necesarios para el sustento de un cultivo. Usa equipos, software y servicios de tecnología de información sofisticados y el acceso a la data es en tiempo real. El software usa la información para brindar a el usuario una orientación adecuada sobre los cultivos, los tiempos óptimos de siembra, los

tiempos de cosecha y el manejo del suelo. Es decir, la agricultura de Precisión mejora los procesos del campo y los hace cada vez más precisos y eficientes.

V. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como recomendación, tener en cuenta que el sistema de monitoreo de variables ambientales puede tener caídas de energía, por lo que se debe garantizar que al iniciar de nuevo el sistema se reconecte al pin de datos del ESP8266 y envíe oportunamente la información, esto se puede corregir por medio del software o hardware.

A futuro se visiona incorporando la tecnología usada en este trabajo en grandes cultivos, incluyendo un amplio conjunto de sensores que permitan realizar el análisis de otras variables ambientales para tener un mayor control sobre los cultivos indoor de cannabis.

Para una etapa siguiente los datos no se visualizarán en una dashboard, sino en una aplicación móvil, esto pensando en la comodidad del usuario para consultar los datos en su día a día. Además, para la alimentación de sensores y del ordenado de placa reducida se hará uso de baterías, asegurando que estos dispositivos electrónicos siempre estén encendidos.

REFERENCIAS

[1] Portafolio. (2019). ¿Por qué el auge del cultivo de marihuana legal en Colombia? Colombia. Revista portafolio.
<https://www.portafolio.co/negocios/por-que-el-auge-del-cultivo-de-marihuana-legal-en-colombia-527893>.
[2] Cannabis en Colombia. (2019). Boletín 002-17. Centro Internacional de Estudios Estratégicos Contra el Narcotráfico.

[3] Valencia, E. (2020). Análisis a la regulación del cannabis medicinal en esquemas asociativos de pequeños y medianos cultivadores en Colombia. Cali.
[4] Ramírez, J. Arango, J & Torres, A. (2019). Fedesarrollo. La industria del cannabis medicinal en Colombia.
[5] Villón Valdiviezo, D. (2009). Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión. Lima.
[6] Ossa, S. (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. Vector, 60.
[7] Triana, U. Jordan, C. Rodríguez, L & Ronald, E. (2018). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Prototipo de solución IoT con tecnología Lora en monitoreo de cultivos agrícolas.
[8] Vera, C. Barbosa, J. & Pabón, D. (2017). Plataforma meteorológica de bajo costo basada en tecnología ZigBee. Revista Colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA), 25.
[9] Raspberry Pi Plus, “Raspberry Pi Plus,” 2020.
[10] MQTT, “MQTT: The Standard for IoT Messaging.”