

**Diseño e implementación de un sistema tecnológico para el monitoreo remoto de variables ambientales aplicados a cultivos de cafés especiales de la región del Cauca**

Jaime Rivera Rosero

Asesora

Margoth Lorena Torres

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básica Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería Electrónica

2023

**Página de aceptación**

---

**Margoth Lorena Torres**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

### **Dedicatoria**

Quiero dedicar este trabajo a mi hermano Harold (Q.E.P.D.) quien fue el primer electrónico de la familia y por ende el modelo a seguir de mi parte y a los cultivadores de café quienes se esmeran por cultivar el principal producto de exportación de Colombia para que los distintos ciudadanos del mundo podamos disfrutar de esa deliciosa bebida.

### **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mi hermana Gloria Elsy Rivera por apoyarme y animarme constantemente a culminar mis estudios y lograr el propósito que me propuse.

Quiero agradecer también a mis hermanos, primos y primas quienes siempre con sus palabras hicieron que me sintiera satisfecho con este proyecto.

Agradecer a la directora del semillero en proyectos y tecnologías sustentables SPTS, Margoth Lorena Torres quien supo enfocarme en el proyecto que presento en este documento.

De igual manera agradecer a la misma universidad y a todos los docentes que hicieron parte de este proceso por haberme transmitido sus conocimientos y experiencia.

## Resumen

Los agricultores en especial los caficultores en Colombia se ven afectados por las condiciones climáticas extremas que se han presentado en la última década y según reporte de Jessica Eise y Natalie White en la publicación “Cafeteros en Colombia luchan por adaptarse a un clima cambiante” para la revista “The Conversation”, en la cual mencionan que: “la región cafetera del país es cada vez más vulnerable a los desastres naturales causados por el cambio climático” y que: “para los 300 mil cafeteros colombianos esas amenazas climáticas extremas junto con estaciones cada vez más impredecibles asociados con el cambio climático, ponen en peligro sus medios de subsistencia”, es por ello que ante esta situación es necesario conocer el comportamiento de variables climáticas que afectan los cultivos de café tales como la temperatura ambiente, la humedad relativa del aire, la cantidad de lluvia que se precipita en la zona, la humedad del suelo e incluso la cantidad de radiación solar, existen otras como el brillo solar, el viento y la nubosidad y la altitud, pero debido a la relevancia de las primeras, en el presente trabajo, se abordarán éstas. Para el caso concreto de la región del Cauca, la situación no es ajena, y debido a la situación geográfica del departamento, que incrementa dichas problemáticas como la temperatura ambiente extrema y los aguaceros torrenciales, es claro que, para tomar las acciones correctivas del caso, el monitoreo de dichas variables ambientales facilita y provee de calidad al cultivo específico que el agricultor desea sacar. Por tal motivo cobra relevancia que la tecnología actual, en concreto con el llamado internet de las cosas, IoT por sus siglas en inglés, se pueden llevar a cabo el monitoreo de variables ambientales, constante y que permita adquirir datos de dichas variables, como les afectan a los cultivos de café, y en tiempo real, generando un registro histórico del comportamiento climatológico a lo largo de una estación o temporada de cultivo. Esto permite que los caficultores tengan la posibilidad de tomar acciones

correctivas bien sea sobre los datos obtenidos en tiempo real o sobre el registro histórico en una determinada estación. Para el presente trabajo de investigación se propone un desarrollo tecnológico que permita medir las variables ambientales mencionadas, el sistema idealmente utiliza sensores electrónicos descritos en la parte de materiales y equipo (ítem 6.2), como también utiliza una tarjeta electrónica de adquisición de datos, NodeMCU ESP8266, cuyo objetivo es procesar y enviar esos datos usando una red inalámbrica de internet, todos los componentes van a estar integrados en una tarjeta electrónica a futuro con una fuente de energía solar que le de autonomía al sistema, los datos se envían a una página web dedicada para tal fin, en este caso la página usada fue [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com), la cual es una página especialmente dedicada a la tecnología IoT permitiendo recoger y almacenar los datos enviados por los sensores en la nube para su correspondiente análisis, además se presentan instrumentos de medición virtuales que permiten interpretar con facilidad las mediciones y generar unas gráficas del comportamiento de las variables en el tiempo. Este sistema tecnológico es novedoso ya que está enfocado en el monitoreo y registro de las variables climáticas de los cultivos de café, y cuyo costo resulta más asequible para cultivadores de escasos recursos.

Una vez implementado el sistema de manera experimental, sobre protoboard, se decide validarlo a través de la toma de datos durante 192 horas, los resultados obtenidos muestran que desde la primera hora y con la presencia del fenómeno de la niña en la zona se registran lluvias que alcanzaron los 95 milímetros; tal situación incidió también en la humedad del suelo puesto que los días de mucha precipitación se registró una humedad hasta de un 160%. Por otra parte, el índice de radiación UV se mantuvo en un nivel entre menor que 2 (exposición baja según el índice ultra violeta IUV) y de 3 a 5 (IUV) Con la temperatura sucedió algo similar que con la lluvia ya que la temperatura más baja registrada fue 22,9°C y la máxima registrada fue 34,6°. En

cuanto a la humedad relativa del aire el valor mínimo registrado fue 23%, mientras el valor máximo fue 87%.

***Palabras clave:*** Cambio climático, Internet de las cosas IoT, variables ambientales, fenómeno de la niña, radiación UV,

## Abstract

Farmers, especially of coffee in Colombia, are affected by the extreme weather conditions that have been presented according by Jessica Eise and Natalie White on the publication “Cafeteros en Colombia luchan por adaptarse a un clima cambiante” for "The Conversation" magazine, in which they mention that: "the coffee region of the country is increasingly vulnerable to natural disasters caused by climate change" and that: "for the 300,000 Colombian coffee farmers these extreme weather together with increasingly unpredictable seasons associated with climate change, that threaten their livelihoods", from this situation is necessary to know the behavior of climatic variables that affect coffee crops such as ambient temperature, relative humidity of the air, the amount of rain that falls in the area, soil moisture and even the amount of solar radiation, there are others such as sunlight, wind and cloudiness and altitude, but due to the relevance of the first, in this work, these will be addressed. In the specific case of the Cauca region, the situation is not unrelated, and due to the geographical situation of the department, which increases problems such as extreme ambient temperatures, it is clear that, in order to take the corrective actions of the case, the monitoring of these environmental variables facilitates and provides quality to the specific crop that the farmer wishes to grow. For this reason, it is relevant that current technology, specifically with the so-called internet of things, IoT, can carry out constant monitoring of environmental variables that allows data acquisition of said variables, and as how affect to the coffee crops in real time, generating a historical record of weather behavior throughout a growing season .This allows to the coffee farmers to have the possibility of taking corrective actions either on the data obtained in real time or on the historical record in a certain station. For the present research work, a technological development is proposed that allows the measurement of the aforementioned

environmental variables, the system ideally uses electronic sensors described in the materials and equipment part (item 6.2), as well as an electronic data acquisition card, NodeMCU. ESP8266, whose objective is to process and send this data using a wireless internet network, all the components will be integrated into an electronic card to future with energy solar source that gives the system autonomy, the data is sent to a dedicated web page for those purpose, in this case the page used was [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com), which is a page specially dedicated to IoT technology, allowing the collection and storage of the data sent by the sensors in the cloud for its corresponding analysis, in addition virtual measurement instruments are presented that allow easy interpretation of the measurements and generate graphs of the behavior of the variables over time. This technological system is novel since it is focused on monitoring and recording the climatic variables of the coffee crops, and whose cost is more affordable for low-income farmers.

Once the system has been implemented experimentally, on a breadboard, it is decided to validate it through data collection during 192 hours, the results obtained show that from the first hour and with the presence of the La Niña phenomenon in the area, rainfall reached 95 millimeters. This situation also affected soil moisture, since on days with a lot of precipitation, humidity was up to 160%. On the other hand, the UV radiation index remained at a level between less than 2 (low exposure according to the ultraviolet index IUUV) and 3 to 5 (IUUV). Something similar happened with the temperature as with the rain, since the temperature The lowest recorded was 22.9°C and the maximum recorded was 34.6°. Regarding the relative humidity of the air, the minimum value registered was 23%, while the maximum value was 87%.

**Keywords:** Climate change, Internet of things IoT, environmental variables, La Niña phenomenon, UV radiation,

## Tabla de **Contenido**

Introducción .....	15
Problema .....	17
Justificación .....	19
Objetivos .....	21
Objetivo General.....	21
Objetivos Específicos.....	21
Marco Conceptual y Teórico .....	22
Variables a Medir en el Sistema Tecnológico Propuesto para este Proyecto .....	22
Humedad del Suelo .....	22
Cantidad de Lluvia.....	23
Radiación UV.....	24
Temperatura Ambiente. ....	25
Humedad Relativa.....	26
Materiales y Métodos.....	26
Desarrollo Metodológico. ....	26
Internet De Las Cosas IoT. ....	27
Sensores que Intervienen en el Proyecto. ....	28
<i>Sensor de Humedad del Suelo YL-69.....</i>	<i>28</i>
<i>Sensor de Intensidad de Rayos UV ML8511.....</i>	<i>29</i>
<i>Sensor de Intensidad de Lluvia YL-83 .....</i>	<i>31</i>
<i>Sensor de Temperatura Ambiente y Humedad Relativa DHT 11 .....</i>	<i>33</i>
Tratamiento de los Datos. ....	34
<i>Placa de Adquisición de Datos. ....</i>	<i>34</i>
<i>Multiplexor 4051.....</i>	<i>35</i>

<i>Alimentación de los Dispositivos</i> .....	36
<i>Diseño y Construcción De La Interfaz HMI</i> .....	37
<i>Implementación Del Código.</i> .....	37
<i>Código De Programación Del Dispositivo De Adquisición De Datos.</i> .....	38
Diseño Del Circuito Electrónico. ....	39
<i>Diseño en Proteus.</i> .....	39
<i>Implementación en Protoboard.</i> .....	41
<i>Implementación Física Del Circuito En Protoboard.</i> .....	42
Resultados Obtenidos.....	44
Cantidad De Lluvia. ....	44
Humedad Del Suelo. ....	46
Intensidad UV. ....	47
Temperatura Ambiente. ....	49
Humedad Relativa.....	51
Visualización Remota. ....	52
Conclusiones .....	54
Referencias bibliográficas.....	55

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de Bloques del Monitoreo Remoto Usando IoT</i> .....	27
<b>Figura 2</b> <i>Sensor de Humedad del Suelo YL-69</i> .....	29
<b>Figura 3</b> <i>Sensor de Luz ultra Violeta ML8511</i> .....	30
<b>Figura 4</b> <i>Intensidad UV vs Voltaje de Salida en ML8511</i> .....	31
<b>Figura 5</b> <i>Sensor de Lluvia YL-83</i> .....	32
<b>Figura 6</b> <i>Sensor de Temperatura y Humedad DHT-11</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Placa NodeMCU ESP8266 V3</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>Multiplexor 4051</i> .....	35
<b>Figura 9</b> <i>Panel Solar con Batería y Regulador de Carga</i> .....	36
<b>Figura 10</b> <i>Código Arduino (primera parte)</i> .....	38
<b>Figura 11</b> <i>Código Arduino (segunda parte)</i> .....	39
<b>Figura 12</b> <i>Diseño del Circuito en el Software Proteus</i> .....	40
<b>Figura 13</b> <i>Vista Superior de la Tarjeta Electrónica en Proteus</i> .....	40
<b>Figura 14</b> <i>Diseño del PCB de la Tarjeta Electrónica</i> .....	41
<b>Figura 15</b> <i>Esquema del Circuito en Protoboard</i> .....	42
<b>Figura 16</b> <i>Implementación Física en Protoboard</i> .....	43
<b>Figura 17</b> <i>Comportamiento de la Cantidad de Lluvia Precipitada</i> .....	45
<b>Figura 18</b> <i>Comportamiento de la Humedad del Suelo</i> .....	46
<b>Figura 19</b> <i>Nivel de la Intensidad UV</i> .....	48
<b>Figura 20</b> <i>Escala de Intensidad UV</i> .....	49
<b>Figura 21</b> <i>Comportamiento de la Temperatura Ambiente</i> .....	50
<b>Figura 22</b> <i>Comportamiento de la Humedad Relativa del Aire</i> .....	51

<b>Figura 23</b> <i>Interfaz Gráfica de Usuario Humedad del suelo y Cantidad de Lluvia</i> .....	53
<b>Figura 24</b> <i>Interfaz Gráfica de Usuario Temperatura Ambiente y Humedad Relativa</i> .....	54

**Lista de Apéndices**

<b>Apéndice A</b> <i>Participación Expotech 2022</i> .....	61
<b>Apéndice B</b> <i>Póster</i> .....	62

## Introducción

Colombia ha sido y es básicamente un país agrícola, siendo el café el producto más sembrado con 722 mil hectáreas, seguido de otros como el plátano con 210 mil, la caña de azúcar con 184 mil, el cacao con 95 mil y el aguacate con 35 mil hectáreas. (Semana.com, 2012).

Adicional a esto, es un país que tiene las condiciones ambientales, debido a sus diferentes pisos térmicos, que permiten que se produzcan muchos y variados productos y que hacen parte de la canasta básica familiar, así como frutas, hortalizas, etc.

Uno de sus principales productos agrícolas de exportación, es el café, motivo de investigación agrícola y tecnificada en la actualidad y por el cual se cuenta con propuestas innovadoras como la presente, en este sentido se debe tener en cuenta que la mata de café o cafeto, que alcanza cerca de un millón de hectáreas sembradas en Colombia, continúa siendo el producto agrícola más importante para el país. (DANE, 2012), se ha hallado que la temperatura ambiente influye notablemente en el crecimiento y desarrollo de ese cultivo. (Pérez et al., 2013). La temperatura óptima para el cultivo del café arábigo es entre 18 y 22 °C, mientras que para el café robusta es entre 22 y 26 °C. (CENICAFE, 2022).

Pero mientras que, al estar Colombia ubicada en una zona tropical, la temperatura del aire varía poco, la lluvia es el elemento climático más variable. (Gregory, 1992, Grierson, 1995, Gliessman, 2007, como se citó en Pérez et al., 2013). Noviembre es el mes más lluvioso en

Colombia con 145 milímetros de lluvia en promedio, mientras que agosto es el menos lluvioso con 45 milímetros. (Weather Spark, 2022). Estudios llevados a cabo por Jaramillo y Guzmán (1984), hallaron que la temperatura del medio ambiente incide en los días transcurridos entre la siembra del producto y la primera cosecha de café, encontrando que es menor en lugares donde las temperaturas son más altas, mientras que en otra investigación, Jaramillo y Valencia

(1980) encontraron que el crecimiento de las matas es en gran medida determinado por la temperatura del aire. (Pérez et al., 2013).

Con base en lo anterior, se plantea un desarrollo tecnológico de investigación aplicada, consistente en un novedoso proyecto para determinar mediante el uso de la tecnología electrónica, las condiciones ambientales de los cultivos de café en el departamento del Cauca para contribuir a su caracterización, mejoramiento y seguimiento al cultivo, como a la calidad del mismo.

Por medio del uso de sensores electrónicos de temperatura ambiente, humedad relativa, humedad del suelo, radiación UV y de cantidad de lluvia además de otros dispositivos electrónicos como el multiplexor y la placa de adquisición de datos, para recoger estas señales, los cuales deberán situarse en las regiones donde se desea saber las condiciones ambientales, las personas interesadas pueden saber en tiempo real desde cualquier punto con acceso a internet tanto el estado de variables tales como la temperatura ambiente, la cantidad de lluvia, la humedad del suelo, así como las gráficas estadísticas que muestran el comportamiento de tales variables en el tiempo.

Por tanto, en el presente documento se muestra la implementación de un sistema tecnológico de monitoreo de las condiciones ambientales para tal propósito, y se muestran todos sus componentes, así como los demás dispositivos electrónicos y la manera de ver los datos remotamente.

Este sistema tecnológico se enfoca es en el monitoreo y registro de las variables ambientales más relevantes para los cultivos de café y es por eso que se monitorean y registran determinadas variables ambientales, además por su bajo costo resulta asequible para cultivadores de bajos ingresos.

## Problema

Muchos de los cultivos de los campesinos se ven seriamente afectados por las condiciones ambientales que pueden terminar en la pérdida de sus cosechas, sobre todo en los últimos años con el cambio climático global en el cual se ha podido observar los cambios repentinos del clima de pasar de un día soleado en la mañana a un torrencial aguacero en la tarde. (Nicholls & Altieri, 2015). El calentamiento global es un factor que incrementa de manera significativa los cambios climáticos y esto afecta sobre todo a los pequeños agricultores ya que pierden dinero al arruinarse sus cultivos por intensas olas de calor o en el otro extremo las heladas. (Turbay et al., 2013).

Para el cultivo del café arábica cultivado principalmente en departamentos como Cauca, Nariño, Valle del Cauca y eje cafetero, el cual es sensible a los cambios climáticos extremos, se ha estimado un rango de temperatura aceptable que oscila entre los 18 y los 21°C (López et al., 1972), y en cuanto a las precipitaciones de lluvia se ha estimado un rango entre 1800 y 2800 milímetros. Si se tiene un clima demasiado seco, el fruto no alcanza su total desarrollo, y si se tienen lluvias demasiado intensas, el cafeto reduce su floración. (Turbay et al., 2013). En el año 2010 durante los primeros tres meses, fue una temporada seca pero el fenómeno meteorológico “El niño”, incrementó la afectación de los cultivos por la enfermedad broca. (Muñoz, 2011b, como se citó en Turbay et al., 2013). Luego vino hacia el segundo semestre del 2010 y todo el 2011, el fenómeno meteorológico “La niña”, que afectó las precipitaciones de lluvia, la luz solar y la temperatura, lo que afectó significativamente la floración y el crecimiento de los cultivos. (Muñoz, 2011b, como se citó en Turbay et al., 2013). Las precipitaciones de lluvia en el eje cafetero del país alcanzaron un 37% más que los promedios históricos y en otras regiones alcanzaron hasta el 50 y el 85%. (Muñoz, 2011b, como se citó en Turbay et al., 2013) y según

informe de la CVC en el mes de junio del 2021 en el departamento del Cauca se presentaron precipitaciones que alcanzaron un 268% lo que establece un superávit del 168%. El fenómeno de la niña hizo que la temperatura en la región cafetera disminuyera en un  $0.8^{\circ}\text{C}$  y la radiación solar en un 15%. (Domínguez, 2011, como se citó en Turbay et al., 2013). Como la radiación solar es fundamental para el crecimiento del cafeto arábigo esa disminución resulta grave. (Turbay et al., 2013).

Durante el primer trimestre del año 2010, la temperatura aumentó  $1.4^{\circ}\text{C}$ , el brillo solar en 14% y las precipitaciones se redujeron en un 46%, mientras que durante el segundo semestre la temperatura disminuyó  $0.8^{\circ}\text{C}$ , el brillo solar 31% y las precipitaciones aumentaron un 62%. (Turbay et al., 2013).

Lo anterior significa que estos rangos en los cuales deben mantenerse los cultivos tanto de temperatura ambiente, como de humedad relativa del aire, precipitaciones de lluvia, radiación solar y humedad del suelo pueden y deben ser monitoreados para así tener un control efectivo sobre los cultivos y de esta manera minimizar las pérdidas que ocasionadas por las condiciones climáticas extremas.

## Justificación

Para los campesinos y demás personal que interviene en el proceso de cultivos de productos agrícolas es necesario monitorear incluso de manera constante las condiciones bajo las cuales se encuentran los cultivos y con base en eso tomar las acciones correctivas del caso. (Universidad de Costa Rica [UCR], 2021). La ventaja de usar Internet de las cosas IoT por su acrónimo en inglés, es que no es necesario estar en el terreno o lugar de los cultivos para mirar los valores de los instrumentos de medición, sino que se puede acceder desde cualquier lugar con internet para no solo ver los valores de cada una de las variables ambientales sino además el registro a lo largo del tiempo del comportamiento de esas variables. Para el caso más concreto que tiene que ver con los cultivos de café en el cauca, y como se sabe por estudios llevados a cabo sobre las condiciones climáticas que afectan estos cultivos, variables tales como la temperatura del aire, la cantidad de lluvia que puede precipitarse en el lugar, la intensidad de rayos ultra violeta, etc., que además con el cambio climático se vuelven más extremos y cambiantes, es decir en un mismo día se puede pasar de un día soleado a un torrencial aguacero y cambiar la temperatura de varios grados centígrados, entonces es de vital importancia mantener una constante vigilancia sobre estos factores ambientales y con ellos tomar las acciones preventivas o correctivas que finalmente ayuden a los cultivadores a lograr con éxito su objetivo de obtener sus cosechas.

Como ya se mencionó utilizando la tecnología IoT, se puede lograr el propósito de monitorear y registrar de manera constante tales variables ambientales, las cuales resultan ser las más relevantes para los cultivos de café, mediante el desarrollo tecnológico de un sistema de monitoreo, el cual utiliza sensores electrónicos diseñados específicamente para tal fin, es decir que para la temperatura ambiente y humedad relativa del aire se tiene un sensor como el DHT11,

para la humedad del suelo el sensor YL-69 , para la intensidad de lluvia el sensor YL-83 y para la radiación solar el ML-8511, y todos estos dispositivos se adaptan fácilmente a una placa electrónica de adquisición de datos como puede ser Arduino o NodeMCU esp8277 las cuales están diseñadas para IoT, es decir que utilizando una red inalámbrica los datos tomados por los sensores son enviados a la placa de adquisición de datos y luego de ser procesados enviados a la nube para ser visualizados en cualquier lugar, en cualquier momento y en tiempo real de manera remota.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema tecnológico que permita el monitoreo remoto de variables ambientales como temperatura ambiente, humedad del suelo, humedad relativa del aire, cantidad de lluvia y nivel de radiación solar que afectan a los cultivos de café del departamento del Cauca.

### **Objetivos Específicos**

Búsqueda de los sensores electrónicos de calidad y robustez para sensado de las variables climáticas mencionadas en el objetivo principal.

Diseño y disposición de los sensores en una tarjeta principal y dispositivo final de control.

Control y seguimiento de las variables de temperatura del ambiente, humedad del suelo, humedad relativa del ambiente, cantidad de lluvia a través de sensores electrónicos.

## **Marco Conceptual y Teórico**

La agricultura es una parte fundamental en el desarrollo económico de Colombia ya que los productos que producen sus campesinos pueden y debe satisfacer la demanda de los consumidores en las ciudades, pero además se pueden exportar muchos de esos productos, tal como sucede con el aguacate Hass, y en la medida que se obtengan divisas por exportaciones de productos agrícolas, se fortalece la economía del país. Es por esta razón que el estado colombiano debe acompañar a sus campesinos con programas y políticas que logren el éxito en el cultivo y cosecha de esos productos.

El sistema tecnológico de monitoreo remoto de variables ambientales, enfocado en los cultivos de café, consiste en un conjunto de dispositivos electrónicos como sensores, placa de adquisición de los datos enviados por los sensores y el envío correspondiente de los datos por medio de una red inalámbrica a internet donde se pueden visualizar, analizar las variables a medir y con éstas tener un registro histórico. Los factores ambientales que se logran medir son la cantidad de lluvia en milímetros que es igual a la cantidad de litros por metro cuadrado, explicado de mejor forma, cuando se vacía un litro de un líquido en una superficie de un metro cuadrado el espesor de esa cantidad de agua es exactamente un milímetro; la temperatura en °C, la humedad del aire y del suelo en porcentaje de humedad (%), y el índice de radiación ultra violeta en IUUV, tales datos son sensados, registrados y analizados mediante este novedoso sistema tecnológico.

### **Variables a Medir en el Sistema Tecnológico Propuesto para este Proyecto**

#### ***Humedad del Suelo***

La humedad del suelo es una variable importante a tener en cuenta ya que de ella depende el crecimiento de los cultivos de café, una baja absorción de agua conlleva a una baja absorción

de nutrientes, pero si por el contrario hay demasiada humedad los cultivos se pueden estropear. (Ramírez et al, 2010). La humedad del suelo está directamente relacionada con las precipitaciones de lluvia en el lugar, pero además tiene que ver con la distribución de esta dentro del cultivo, de la densidad del sembrado, de la distribución del área a foliar, de la evaporación y de la inclinación del terreno, además de las propiedades tanto físicas como hidráulicas del suelo. (Ramírez et al, 2010). Los excesos hídricos y de igual manera las severas deficiencias en el suelo pueden afectar de manera significativa el crecimiento y el desarrollo productivo y vegetativo de las plantas de café. (Peña et al, 2012).

La sobresaturación del suelo está relacionado a las altas precipitaciones en el lugar o a las temporadas de lluvia, limitando con esto el desarrollo del sistema radical y obteniéndose como resultado plantas nutricionalmente deficientes, con muchas manchas de hierro en las hojas y los frutos y en general baja calidad de los frutos, e incluso hasta la muerte de las plantas. (Peña et al, 2012).

Por otra parte, la deficiencia de agua que se encuentra relacionado con bajas precipitaciones en el lugar o temporada seca o de escasas lluvias, puede traer como consecuencia daños en las cosechas, sobre todo si esto coincide con la temporada de floración de las plantas. (Peña et al, 2012).

En tal orden de ideas, si la lluvia se encuentra por encima 2900 milímetros y por debajo de 1400 milímetros anuales, se considera como amenaza y dentro de ese rango de valores como adecuada. (Peña et al, 2012).

### ***Cantidad de Lluvia.***

En la zona tropical que es donde geográficamente se ubica Colombia, suceden dos fenómenos meteorológicos que traen como consecuencias temporadas secas o de lluvia, estos

dos fenómenos son llamados el niño y la niña. El del niño, es un fenómeno climático natural que sucede debido a la interacción entre la atmósfera y el océano, siendo su principal característica el aumento de la temperatura en las aguas superficiales del océano pacífico, abarcando la región ecuatorial entre los 10° latitud norte y los 10° latitud sur. (Jaramillo & Arcila, 2009).

En Colombia, el efecto del fenómeno del niño no ha tenido iguales características en los últimos eventos, ni ha seguido un patrón común. Su incidencia en la zona cafetera está relacionada principalmente a la deficiencia hídrica en el suelo y a sus efectos en los cultivos. Se ha podido observar que cuando se presenta este fenómeno, las precipitaciones de lluvia disminuyen sobre todo en los meses de diciembre, enero, febrero, junio, julio y agosto. (Jaramillo & Arcila, 2009). El fenómeno de la niña trae como consecuencia un incremento considerable de las precipitaciones y disminución de la temperatura, en regiones como la Andina, La Caribe y la Pacífica. Como ya se ha establecido previamente, la cantidad de lluvia y la humedad del suelo están íntimamente asociadas, por lo que establecer la cantidad de lluvia que se precipita en el lugar, es importante para los cultivos.

### ***Radiación UV.***

En Colombia la zona cafetera es característica por presentar gran nubosidad durante el día la cual puede ser determinada con base en los registros de brillo solar. Tanto la cantidad como la calidad de radiación solar afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La disponibilidad de radiación afecta de manera bastante significativa la producción de café, sobre todo si el sistema de producción se realiza bajo árboles de sombrío. (Farfán & Jaramillo, 2013).

El comportamiento de los cafetos que tradicionalmente se ha pensado que es igual bajo cualquier nivel de sombra o de luz independientemente de las condiciones climáticas, en realidad es diferente, debido a que los cultivos necesitan diferentes cantidades de sombra dependiendo de

su ubicación geográfica y de la disponibilidad de radiación solar y de agua en el suelo que presente el lugar. (Farfán & Jaramillo, 2013).

La radiación fotosintéticamente activa (RFA), se refiere a la franja del espectro electromagnético utilizada para el proceso de la fotosíntesis de las plantas, y se establece en un rango de entre 400 a 700 nanómetros que es muy próximo a la luz visible. (Farfán & Jaramillo, 2013).

Las principales características de la RFA que inciden en el comportamiento biológico son la intensidad que es la cantidad de energía que alcanza una superficie en unidad de tiempo, la calidad, que son las diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético y la duración que es el tiempo de incidencia. (Farfán & Jaramillo, 2013).

### ***Temperatura Ambiente.***

“La Organización Internacional del Café - ICO- (ICO, 2010) reconoce que el sector a nivel mundial se enfrenta a mayores retos debido al cambio climático.” (Panhuysen & Pierrot, 2014, p. 101).

Tanto las temperaturas como las lluvias erráticas afectan directamente los cultivos de café lo que trae como consecuencia condiciones poco favorables de crecimiento e indirectamente favoreciendo condiciones para que se desarrollen plagas como la roya y la broca. (Baker & Haggar, 2007, como se citó en Panhuysen & Pierrot, 2014).

Se ha evidenciado que en las regiones que son más vulnerables al cambio climático el cultivo del café puede verse amenazado. (Panhuysen & Pierrot, 2014).

El rango ideal de temperatura para el cultivo de café se encuentra entre 15 y 24 °C para el café arábigo y entre 24 y 30°C para el café Robusta, aunque este último puede florecer bajo condiciones más cálidas y secas, no tolera condiciones inferiores a los 15°C, como si lo hace la

variedad arábica por cortos periodos. (Panhuysen & Pierrot, 2014).

### ***Humedad Relativa.***

La humedad relativa se encuentra íntimamente relacionada con el brote de la enfermedad “broca”, en los granos de café. Las altas humedades (90 a 100% H.R.), incrementan los frutos infestados mientras que por debajo del 80% la cantidad es menor. (Constantino et al, 2011).

Las esporas de hongos entomopatógenos inician su germinación cuando se presentan niveles altos de humedad relativa. (Mc Coy et al, 1988, como se citó en Arrubla et al, 2010). No obstante, también hay evidencia que puede germinar con bajos niveles de humedad cuando se encuentra presente el insecto hospedante. (Ferrón, 1978, como se citó en Arrubla et al, 2010).

Estudios llevados a cabo en los laboratorios de entomología del Centro nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé), donde se emplearon esporas *Beauveria bassiana*, en la primera evaluación de un día, la germinación alcanzó su mayor valor con 90% de humedad y se redujo al decrecer el contenido de esta. (Arrubla et al, 2010).

### **Materiales y Métodos.**

#### ***Desarrollo Metodológico.***

Teniendo en cuenta las variables más importantes que deben ser monitoreadas, este novedoso sistema tecnológico se apoya en la tecnología IoT incorporando para ello cinco sensores, para medir la humedad del suelo como el YL-69, la intensidad de los rayos ultra violeta UV como el ML8511, la cantidad de lluvia precipitada en el lugar como el YL-83, y la temperatura y humedad relativa como el DHT11, además del multiplexor 74HC4051 y la placa de adquisición de los datos NodeMCU esp8266 que involucra un módulo Wi Fi para enviar esos datos a la nube, concretamente a la página Thingspeak.com donde además de visualizarse en

tiempo real las variables, se puede llevar un registro histórico con gráficas que muestran el comportamiento de tales variables en el tiempo.

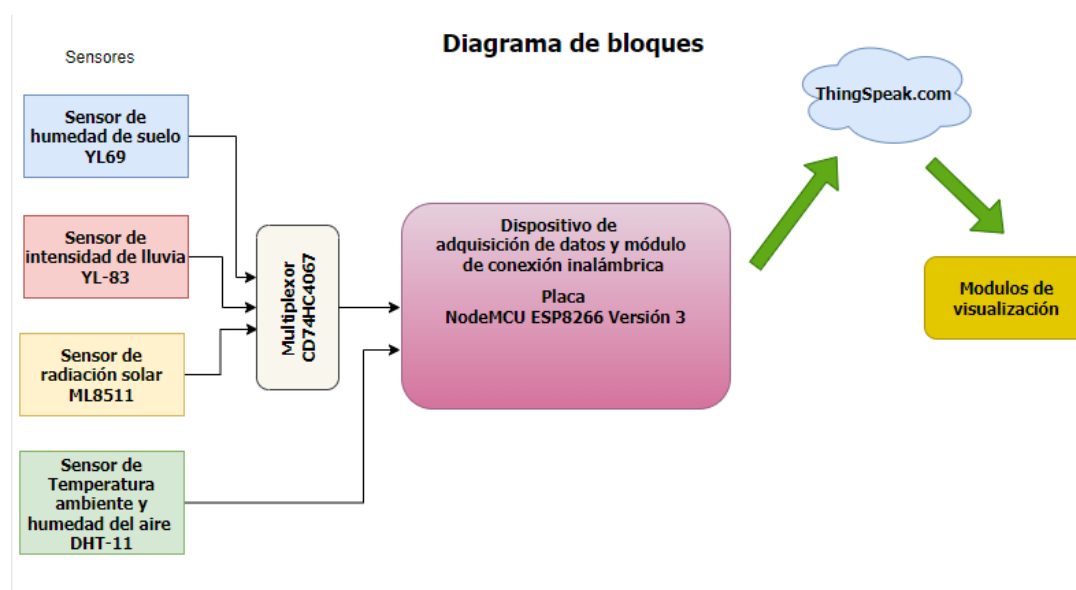
### ***Internet De Las Cosas IoT.***

Internet de las cosas (Internet of Things), es el proceso con el que los objetos se conectan a internet. Es decir que ahora objetos como el televisor, la nevera, el aire acondicionado, la calefacción, etc., se pueden conectar a internet por medio de una red inalámbrica (Zito, 2018).

Para este proyecto se utiliza IoT de sensores para enviar los datos a un lugar distante.

### **Figura 1**

#### *Diagrama de Bloques del Monitoreo Remoto Usando Iot*



*Nota. Autoría propia*

En la figura 1 se puede observar el diagrama de bloques del sistema tecnológico de monitoreo remoto de estas variables. Se puede apreciar en el diagrama que se usan cuatro sensores, que son el YL-69 el cual es un sensor para medir la humedad del suelo, el sensor de intensidad de lluvia YL-83, que como su nombre lo indica nos da una idea de que tan intensa es

la lluvia que cae en el lugar, el sensor de radiación solar ML8511, con el cual se puede determinar el nivel de radiación UV y el sensor de temperatura ambiente y humedad relativa DHT11, el cual tiene la característica de medir dos variables como la temperatura y la humedad relativa y se diferencia de los otros en que es un sensor con salida digital. Todas las señales tomadas por estos sensores con excepción de la del DHT11, son recogidas de manera secuencial por el multiplexor CD74HC4067, es decir que este dispositivo a una velocidad bastante alta, selecciona un sensor y luego el siguiente y así sucesivamente hasta terminar con el último sensor y luego repite el proceso, y de igual manera en el mismo orden estos datos son entregados a la placa de adquisición de datos NodeMCU Esp 8266, y es aquí donde esos datos son procesados y luego enviados vía wifi a la nube, concretamente a la página Thingspeak, esta página no solo muestra en tiempo real los datos de cada una de las variables, sino que además realiza las gráficas correspondientes para tener un historial del comportamiento de ellas en el tiempo y para que el usuario que tenga un dispositivo como celular o computador puede visualizar todo esto y llevar a cabo los correspondiente análisis.

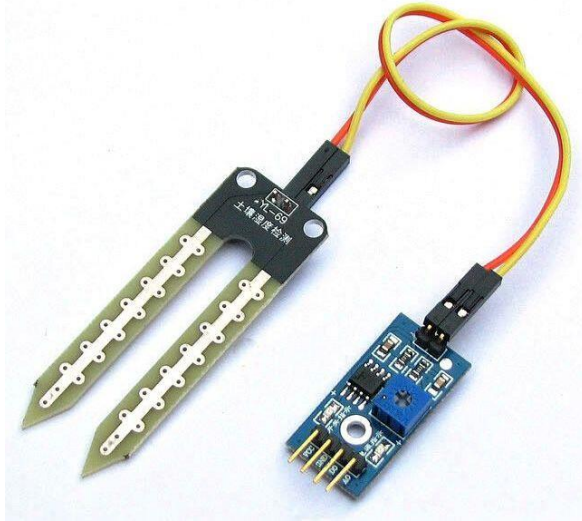
### **Sensores que Intervienen en el Proyecto.**

#### ***Sensor de Humedad del Suelo YL-69.***

Este módulo está considerado para controlar la humedad del suelo o la tierra de plantas. Cuando se aplica un pequeño voltaje a sus terminales, se produce una corriente la cual es proporcional a la resistencia del suelo y esta varía según la humedad, lo que significa que entre más húmedo sea el suelo menos resistencia existirá y por lo tanto habrá más corriente y viceversa. Se compone de una sonda con dos terminales que se incrustan en el suelo y de un módulo con un circuito comparador.

## Figura 2

### *Sensor de Humedad del Suelo YL-69*



*Nota.* Adaptado de YL-69 [Fotografía], por Electrónicos Caldas,

(<https://www.electronicoscaldas.com/es/sensores-de-humedad-lluvia-inundacion/461-sensor-de-humedad-en-suelo-yl-69.html>)

### **Características Técnicas**

Voltaje de Alimentación DC (VCC): 3.3V – 5 VDC

Voltaje de salida: 0 – 4.2 V

Corriente: 35 mA

A0: Salida analógica, la cual entrega un voltaje alterno proporcional a la humedad presente en el suelo.

D0: Salida digital, la cual se puede ajustar mediante un potenciómetro cuando pasa de nivel bajo a alto.

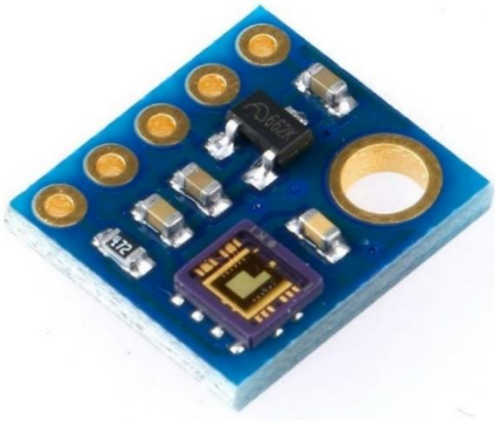
### ***Sensor de Intensidad de Rayos UV ML8511.***

Detecta longitudes de onda entre 280 a 390 nanómetros.

Este sensor produce una señal analógica que es proporcional a la cantidad de luz ultra violeta detectada. El voltaje analógico producido es lineal a la intensidad de luz UV expresada en  $\text{mW}/\text{cm}^2$ , según como se puede observar en la figura 3.

### Figura 3

*Sensor de Luz Ultra Violeta ML8511*



Nota. Adaptado de UV Light Sensor ML8511 [Fotografía], por Artemis Systems, (<https://module-destepte.ro/en/produse/uv-light-sensor-ml8511/>)

Se espera obtener información de la radiación solar ultravioleta medida en índice uv.

### Características Técnicas

Tensión de alimentación: 2,7 V-3,6 V CC

Temperatura de funcionamiento óptima: -20 °C – 70 °C

Longitud de onda de la luz detectada: 280-390 nm

Corriente media consumida: 300  $\mu\text{A}$

Consumo de corriente en espera: 0,1  $\mu\text{A}$

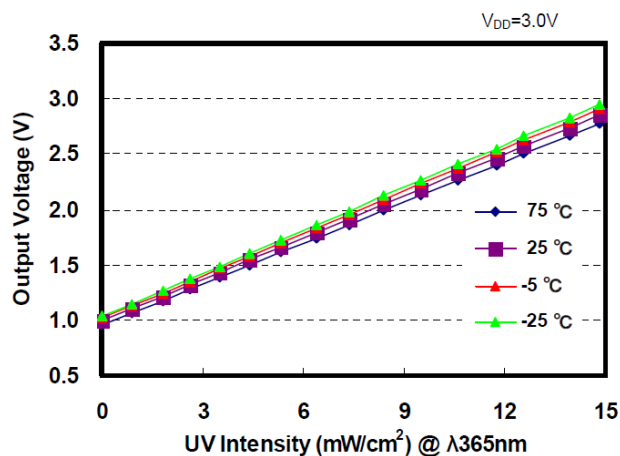
En la figura 4 se puede observar la variación de voltaje a medida que se incrementa la intensidad de radiación solar vemos que es lineal en el cual para 0 UV se tiene un voltaje de

salida de 1 voltio y para 15 UV el voltaje de salida es 3 voltios, es decir que el voltaje varía solamente dos voltios.

#### Figura 4

*Intensidad UV vs Voltaje de Salida en ML8511*

##### OUTPUT VOLTAGE- UV INTENSITY CHARACTERISTICS



Nota. Adaptado de UV ML8511 output voltage– UV intensity characteristics [Imagen], por Lapis Semiconductor Co., Ltd,

([https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511\\_3-8-13.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf))

Con un micro controlador, se puede llevar a cabo una conversión de la señal analógica a digital y con ello entonces indicar en un visualizador el nivel UV, en este caso se utiliza la placa NodeMCU que utiliza el micro controlador ESP 8266.

#### *Sensor de Intensidad de Lluvia YL-83*

Este módulo tiene un amplificador operacional LM393, el cual se encarga de amplificar el pequeño voltaje que es generado cuando una gota de agua cae sobre las pistas del módulo. (Jabots.com, S.F.)

Entrega una señal analógica que varía según la cantidad de agua que moja el módulo, y también consta de una salida digital que indica la presencia de agua. (Ja-bots.com, S.F.)

### Figura 5

*Sensor de Lluvia YL-83*



*Nota.* Adaptado de Módulo sensor de lluvia YL-83[Fotografía], por Ja-Bots, (<https://ja-bots.com/producto/modulo-sensor-de-lluvia-mh-rd/>)

Se espera obtener información acerca de la cantidad de lluvia que se precipita en el lugar medida en Litros por metro cuadrado.

### Características Técnicas.

Tensión de Entrada: 3.3 a 5 VDC

Tensión de Salida Analógica: 0 a 4.2 VDC

Corriente de Operación: 15 mA

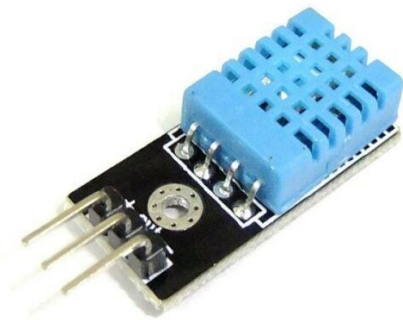
Umbral de Detección de Salida Digital ON/OFF Ajustable por Potenciómetro

### *Sensor de Temperatura Ambiente y Humedad Relativa DHT 11*

Basicamente consiste en un pequeño módulo que contiene dos sensores, uno capacitivo para medir la humedad relativa del aire, y otro, termistor para medir la temperatura ambiental. A diferencia de los demás sensores utilizados para este proyecto, el DHT 11 solo posee una salida digital.

#### **Figura 6**

### *Sensor de Temperatura y Humedad DHT-11*



*Nota.* Adaptado de Módulo sensor de DHT11 – Sensor de humedad y temperatura [Fotografía], por Ultra-Lab, (<http://ultra-lab.net/producto/dht11-sensor-de-humedad-y-temperatura/>)

Con este módulo se pretende obtener datos de la temperatura ambiente y de la humedad relativa del lugar.

#### **Características Técnicas.**

Voltaje de Operación: 3V - 5V DC

Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C

Precisión de medición de temperatura:  $\pm 2.0$  °C

Resolución Temperatura: 0.1°C

Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.

Precisión de medición de humedad: 5% RH.

Resolución Humedad: 1% RH

### **Tratamiento de los Datos.**

#### ***Placa de Adquisición de Datos.***

Para la adquisición de datos se utiliza la placa NodeMCU ESP8266 versión 3 la cual tiene la ventaja de hacer la doble función tanto de adquirir datos como de enviarlos vía wifi a la nube y de esta manera poderlos ver en la interfaz HMI que para este caso se eligió Thingspeak.

### **Figura 7**

*Placa NodeMCU ESP8266 V3*



*Nota.* Adaptado de *Módulo WiFi NodeMCU V3*[Fotografía], por Dielect tienda virtual, S.F.

(<https://ssdielect.com/cb/wifi-sistemas-de-desarrollo-esp8266-wifi/768-nodemcu-lolin-ch340.html>)

Esta placa tiene una entrada analógica y ocho pines digitales para ser usados como entradas o salidas según se programe, los pines RX y DX son para la comunicación

La placa NodeMCU ESP8266 puede ser alimentada por medio del puerto USB del PC.

### **Características Técnicas**

Procesador ESP 8266

4 MB de memoria flash.

Voltaje de Alimentación: 5V DC

Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3V DC (No usar 5V)

Frecuencia de Reloj: 80MHz/160MHz

Pines Digitales GPIO: 17 (4 pueden configurarse como PWM a 3.3V)

Pin Analógico ADC: 1 (0-1V)

Puerto Serial UART: 2

### *Multiplexor 4051*

Debido a que la placa de adquisición de datos NodeMCU solo posee una entrada analógica, y que se necesita obtener datos de manera simultánea de varios sensores, entonces se hace necesario utilizar un multiplexor como el 74HC4051, el cual posee 8 entradas y puede ser manejado por la misma placa NodeMCU para que de esta manera de forma automática lleguen en cuestión de milisegundos cada una de las señales de los sensores a la placa.

### **Figura 8**

#### *Multiplexor 4051*

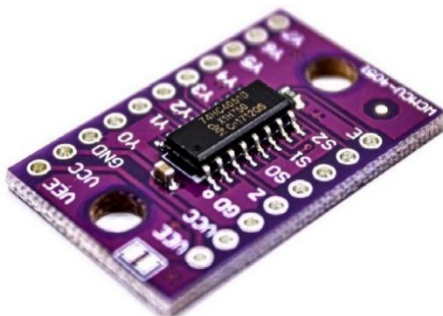


Photo by ElectroPeak

*Nota.* Adaptado de Módulo multiplexor analógico de 8 canales CJMCU 74HC4051[Fotografía], por ElectroPeak, ( <https://n9.cl/m69h8>)

## Características Técnicas

Rango de tensión de entrada analógica de -5 V a +5 V

Baja resistencia en ON:

80 ohm (típico) en VCC - VEE = 4,5 V

70 ohm (típico) en VCC - VEE = 6,0 V

60 ohm (típico) en VCC - VEE = 9,0 V

Especificado de -40 °C a + 85 °C y -40 °C a +125 °C

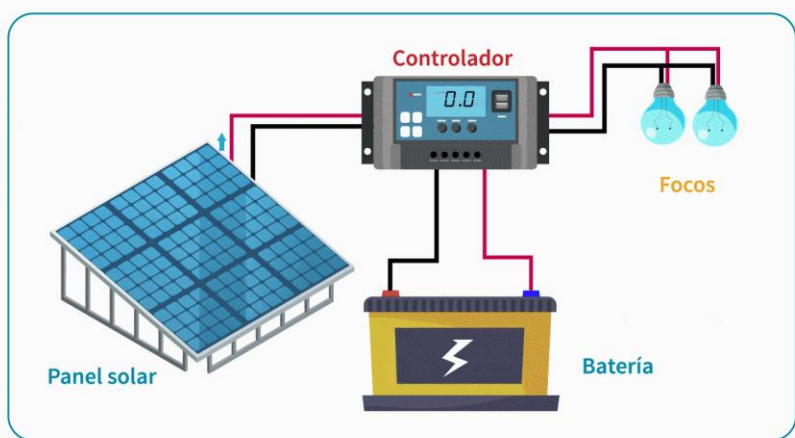
## Alimentación de los Dispositivos

Para la alimentar los dispositivos electrónicos, se utiliza un panel solar. Un panel solar se compone de celdas solares, las celdas solares son fabricadas en silicio o arseniuro de galio, estos son materiales semiconductores, las celdas solares transforman la energía solar en eléctrica.

La energía producida por el panel solar la cual es directa, alimenta una batería, la cual a su vez alimenta los dispositivos electrónicos, pero no se debe conectar directamente el panel solar a la batería por lo que se usa un controlador de carga el cual controla la corriente con la cual se carga la batería aumentando con ello su vida útil.

## Figura 9

*Panel Solar con Batería y Regulador de Carga*



Nota. Adaptado de ¿Cómo convencer a tu cliente para que instale paneles solares? [Ilustración 3D], por Nayaret Belén, Aprende Institute, S.F. (<https://n9.cl/twp31>)

### **Característica Técnicas de la Batería.**

Voltaje nominal: 12VCC

Corriente nominal: 7 Amperios/hora

Sellada libre de mantenimiento

### **Características Técnicas del Panel Solar**

Voltaje nominal: 12VCC

Potencia: 100 Watos

### ***Diseño y Construcción de la Interfaz HMI***

La HMI que se usa para este caso es en la plataforma IoT en la página Thingspeak.com, Thingspeak es una plataforma desarrollada para IoT, permite visualizar las variables en tiempo real y llevar un registro estadístico de los mismos, además esos datos pueden ser analizados y visualizados en Matlab.

### ***Implementación del Código.***

Para la implementación del código se usa el IDE Arduino y se carga a la placa NodeMCU ESP8266. Arduino es un entorno de desarrollo integrado, IDE por sus siglas en inglés, que permite realizar las instrucciones en un lenguaje de programación, que luego serán grabadas en el micro controlador que por lo regular son también micro controladores Arduino, pero en este caso el micro controlador es la placa NodeMCU esp8266. Por ser Arduino un software de código abierto, no se requiere licencia para su instalación y funcionamiento, además de poderse agregar librerías, es decir códigos de programación previamente hechos que se encuentran disponibles y las cuales permiten simplificar la programación de quien esté realizando el código. Los datos

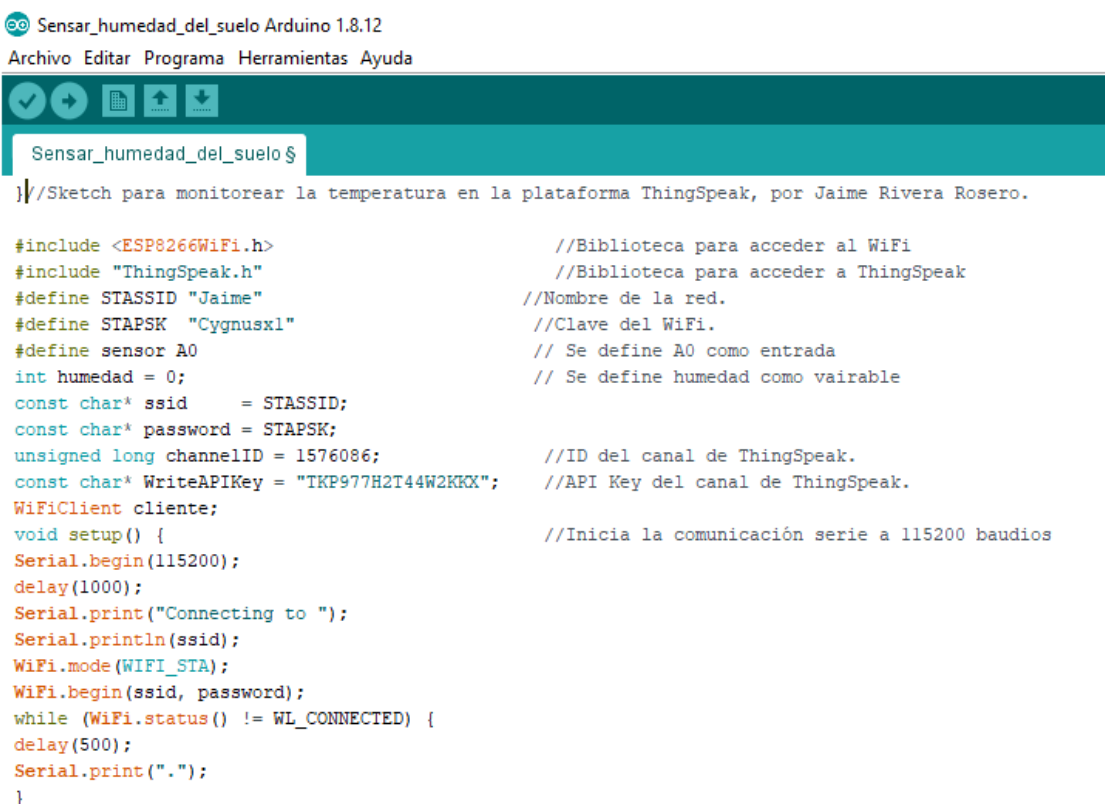
adquiridos por los sensores son enviados al Multiplexor el cual, según la dirección seleccionada, elige una salida que envía a la entrada A0 de la placa NodeMCU y aquí se realiza el proceso de conversión para presentarlos en porcentaje de humedad e índice UV y luego enviarlos a la página de Thingspeak.com donde se podrán visualizar desde cualquier parte que se tenga acceso a internet.

### ***Código de Programación del Dispositivo de Adquisición de Datos.***

Se usó el código arduino el cual se presenta a continuación

### **Figura 10**

#### ***Código Arduino (Primera Parte)***



```

Sensor_humedad_del_suelo Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Sensor_humedad_del_suelo $
} //Sketch para monitorear la temperatura en la plataforma ThingSpeak, por Jaime Rivera Rosero.

#include <ESP8266WiFi.h> //Biblioteca para acceder al WiFi
#include "ThingSpeak.h" //Biblioteca para acceder a ThingSpeak
#define STASSID "Jaime" //Nombre de la red.
#define STAPSK "Cygnusx1" //Clave del WiFi.
#define sensor A0 // Se define A0 como entrada
int humedad = 0; // Se define humedad como vairable
const char* ssid = STASSID;
const char* password = STAPSK;
unsigned long channelID = 1576086; //ID del canal de ThingSpeak.
const char* WriteAPIKey = "TKP977H2T44W2KKX"; //API Key del canal de ThingSpeak.
WiFiClient cliente;
void setup() { //Inicia la comunicación serie a 115200 baudios
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
}

```

*Nota.* Autoría propia

**Figura 11****Código Arduino (Segunda Parte)**


Screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar shows 'Sensor\_humedad\_del\_suelo Arduino 1.8.12'. The menu bar includes 'Archivo', 'Editar', 'Programa', 'Herramientas', and 'Ayuda'. The toolbar contains icons for check, undo, redo, copy, paste, and save. The main text area displays the following C++ code:

```
Sensor_humedad_del_suelo $
WiFi.mode(WIFI_STA);
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.println("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
ThingSpeak.begin(cliente);
}

void loop() {
  ThingSpeak.writeFields(channelID,WriteAPIKey);
  Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak!");
  delay(1000);
  int humedad = map(analogRead(sensor), 0, 1023, 100, 0);
  //se hace un mapeo de la lectura del sensor a porcentual
  humedad = humedad*1.718;
  if(humedad>100) humedad = 100;
  Serial.print("Humedad del suelo: ");
  Serial.print(humedad);
  Serial.println("%");
  delay(1000);
  Serial.println("-----");
  ThingSpeak.setField (1,humedad);
}
```

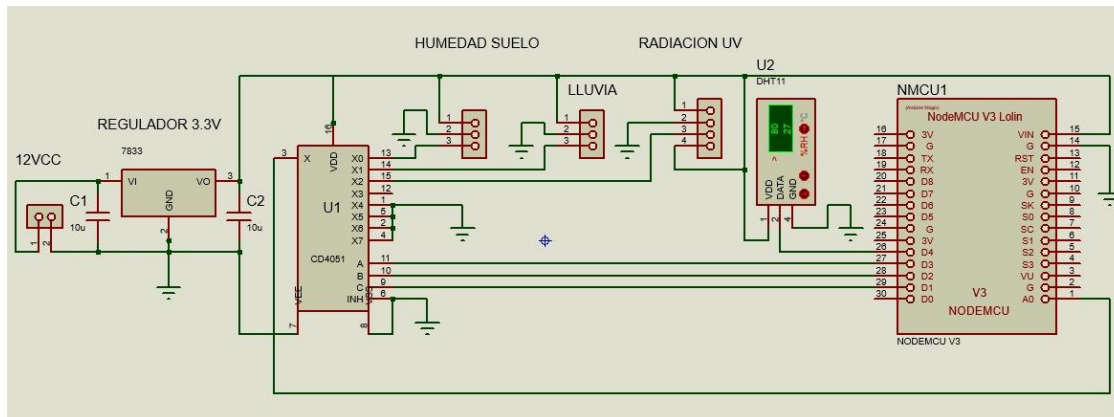
*Nota.* Autoría propia

**Diseño del Circuito Electrónico.*****Diseño en Proteus.***

Se hace un diseño con el software de Proteus, este software permite llevar a cabo simulaciones previas de los circuitos lo cual permite detectar errores, pero aparte de ello, se puede llevar a cabo el diseño del circuito impreso y tener una visualización en tres dimensiones de como quedaría la placa electrónica.

**Figura 12**

*Diseño del Circuito en el Software Proteus*

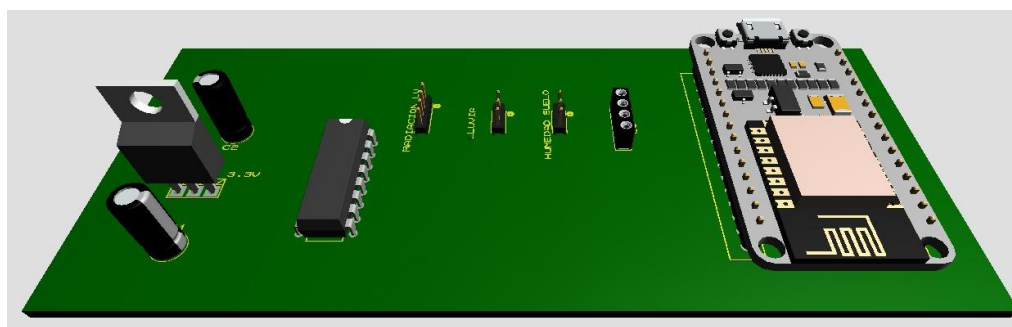


*Nota. Autoría propia*

Tal como se observa en la figura 12, para este caso en particular, la placa o tarjeta electrónica, solo contiene la placa NodeMCU, el multiplexor, el regulador de 3,3 voltios y el sensor DHT11 y el conector para la alimentación de 12 Voltios desde el panel solar, esto debido a que los demás sensores se conectan alámbrica mente a la tarjeta por conectores en esta.

**Figura 13**

*Vista Superior de la Tarjeta Electrónica en Proteus*

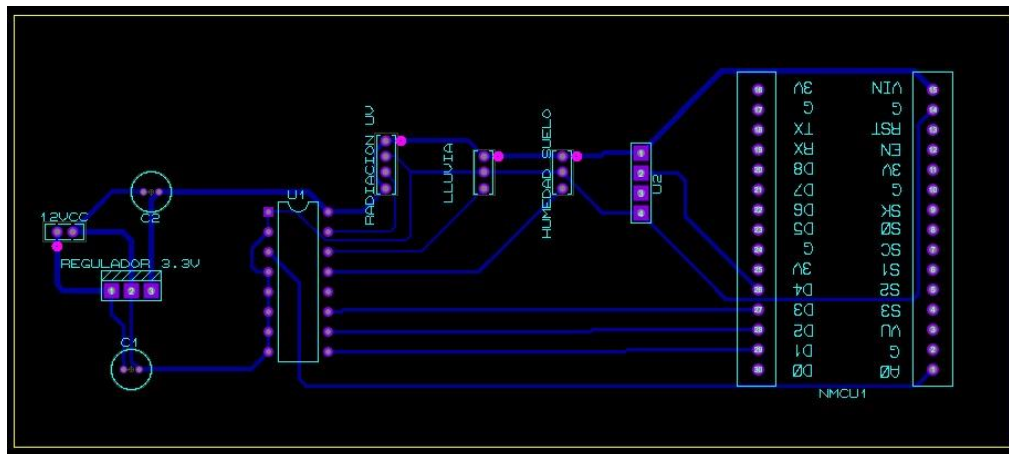


*Nota. Autoría propia*

En la figura 13 se observa la vista superior de la tarjeta electrónica, en ella aparecen los tres conectores para los sensores de humedad del suelo, cantidad de lluvia y radiación uv, estos sensores por obvias razones son elementos externos a la placa.

### Figura 14

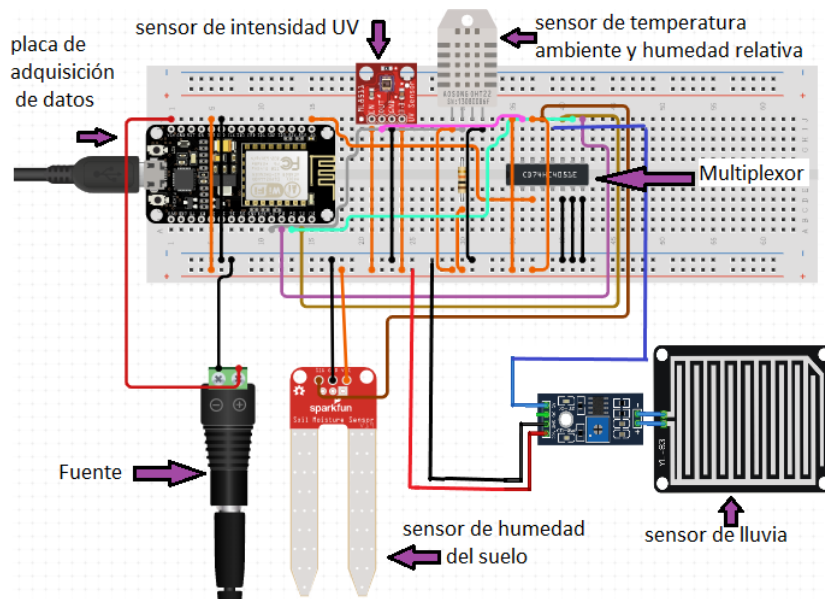
#### *Diseño del PCB de la Tarjeta Electrónica*



*Nota.* Autoría propia

El circuito impreso o PCB se observa en la figura 14, esta es la parte posterior de la placa, es decir por donde van las pistas electrónicas comunicando los diferentes dispositivos.

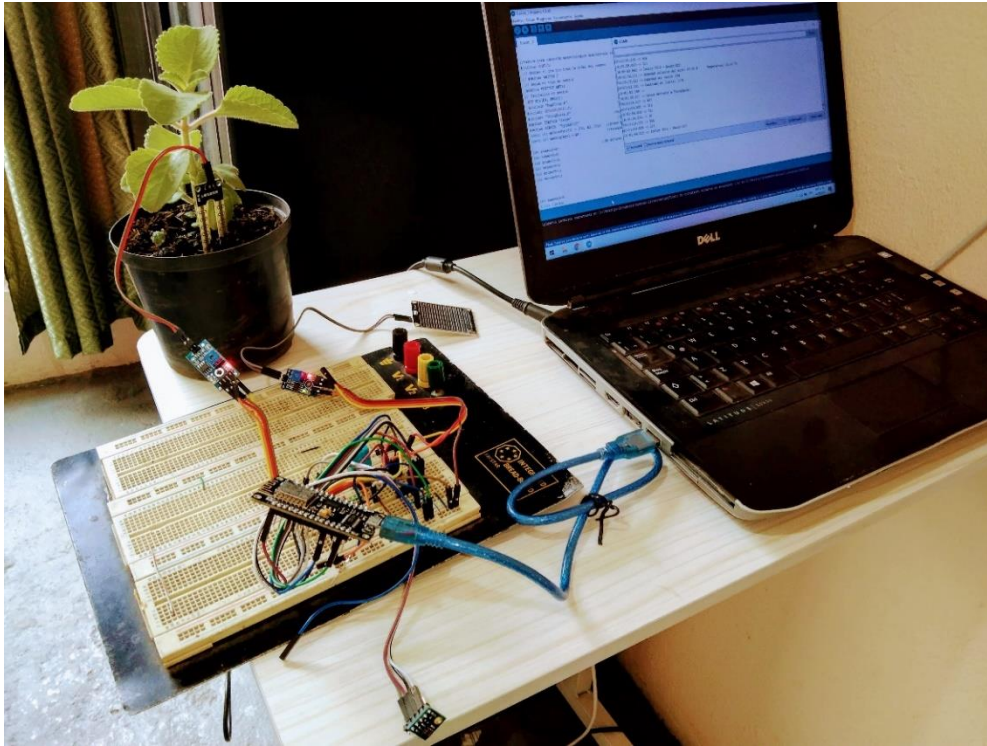
#### ***Implementación en Protoboard.***

**Figura 15***Esquema del Circuito en Protoboard*

*Nota.* Autoría propia

En la figura 15 se observa el esquema de la implementación del circuito en un protoboard. Implementar un circuito primero en protoboard permite de manera rápida y fácil realizar las conexiones de los diferentes componentes electrónicos de una manera ordenada.

***Implementación Física Del Circuito En Protoboard.***

**Figura 16***Implementación Física en Protoboard*

*Nota.* Autoría propia

En la figura 16 aparece ya el circuito implementado de manera física en un protoboard, la placa NodeMCU esp 8266 en este caso está siendo alimentada por el cable USB por el cual además se comunica con el mismo PC para mirar en el IDE de Arduino si los datos están siendo recibidos por la placa y si realmente enviados a la página de Thingspeak.

## Resultados Obtenidos

Se realizaron mediciones y se registraron esos datos durante un periodo de 192 horas, durante la temporada de lluvia, los datos que se recogieron en la página thingspeak.com, se exportaron y con ellos se hicieron las gráficas correspondientes del comportamiento de las variables en ese periodo de tiempo, las cuales se detallan a continuación.

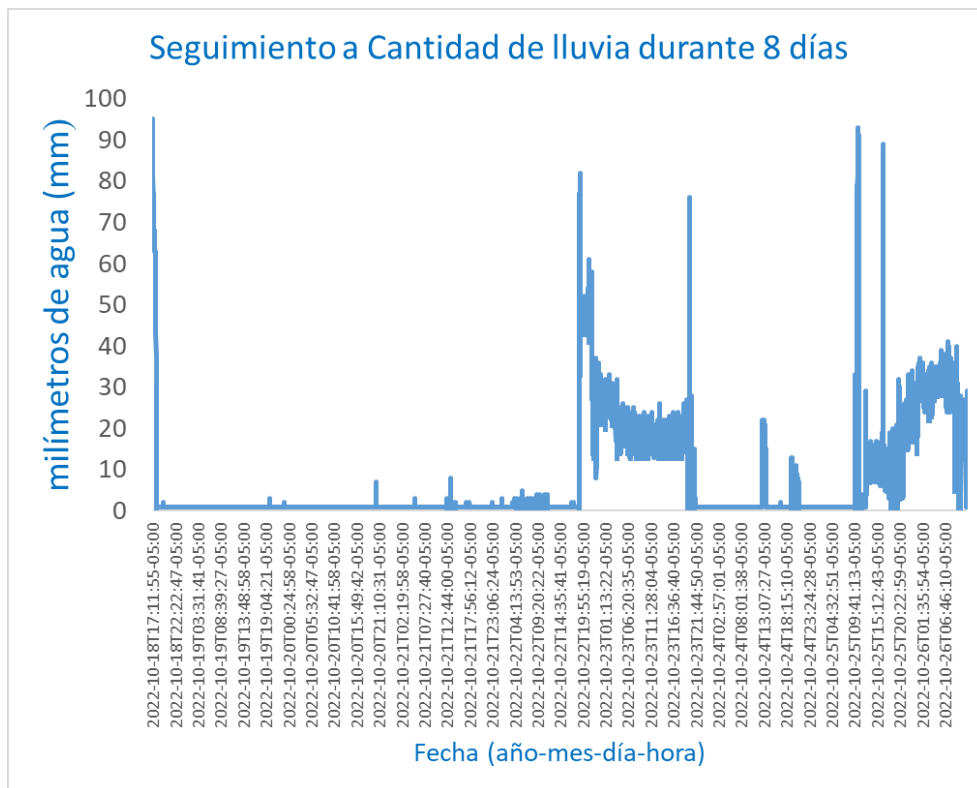
### Cantidad de Lluvia

La temporada climática del año 2022 en la cual se recogieron los datos, es una representación en general buena, del comportamiento a lo largo de todo el año de las variables ambientales, ya que fue un periodo con bastantes precipitaciones de lluvia y pocos periodos soleados, en concreto 456 horas de lluvia y 288 horas de sol, incluso se presentaron temporadas en los cuales ocurrió que la mañana fue soleada y la tarde lluviosa, o viceversa.

En la Figura 17, se observa que cuando se comenzó con el monitoreo y la recolección de datos a las 17 horas, corresponde a un periodo temporal con mayor precipitación o cantidad de lluvia, la medida reportada en milímetros fue la más alta registrada para esa periodo de tiempo, con 95 milímetros, que luego con el paso de las horas iría disminuyendo y posteriormente hacia las 20 horas y media cesó la lluvia hasta 1 milímetro para luego 91 horas después volver a llover alcanzando los 82 milímetros y luego disminuir 12 horas después hasta 27 milímetros y posteriormente diez horas más tarde, incrementarse la lluvia hasta alcanzar el valor de 78 milímetros, la situación se repitió 36 horas después donde alcanzó un valor de 92 milímetros para luego disminuir 30 horas después a 28 milímetros, cuatro horas después se vuelve a presentar un valor pico de 89 milímetros valor que cae cuatro horas después a 31 milímetros y el registro cierra con un valor de 29 milímetros 15 horas después.

**Figura 17**

*Comportamiento de la Cantidad de Lluvia Precipitada*



*Nota.* Autoría propia

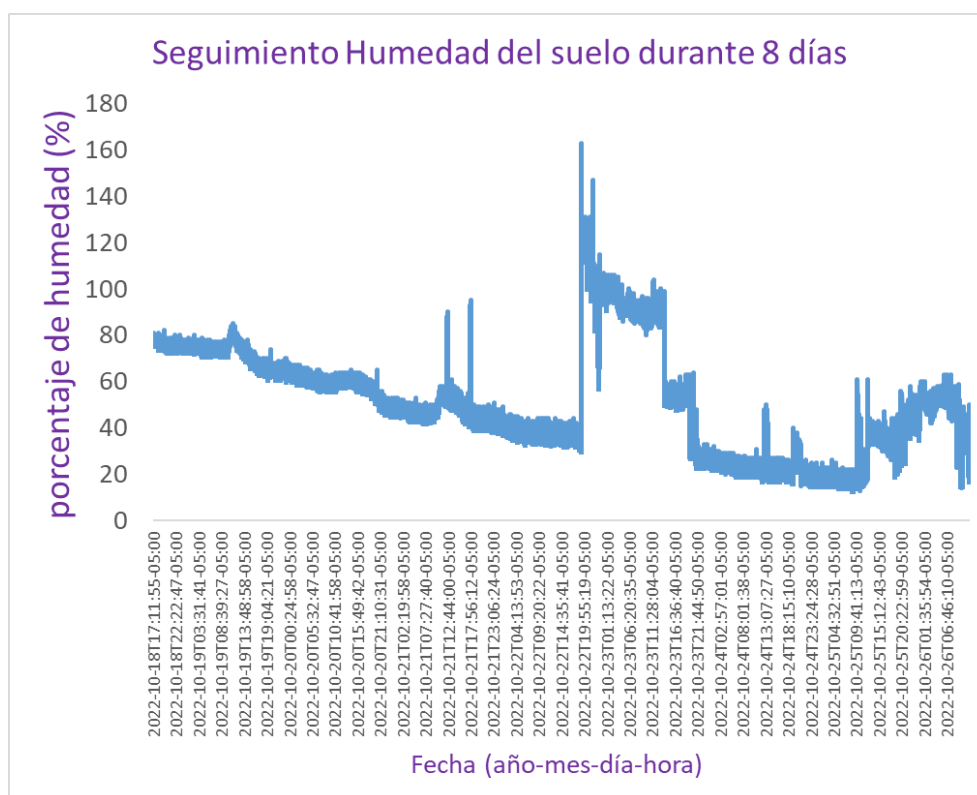
Teniendo en cuenta, esta información y la reportada por Newton, 2017, cuando se presenta mayor precipitación de lluvia puede suceder que los frutos ya maduros de café caigan al suelo y al permanecer demasiado tiempo ahí, se fermenten, trayendo como consecuencia la presencia de la mosca de la fruta que hacen que la planta se vea afectada. Otro fenómeno que suele presentarse, cuando hay exceso de agua, es que los frutos aún en la rama se empiecen a agrietar como consecuencia de absorber agua muy rápido y por lo tanto las células de la cáscara se separan trayendo como resultado un menor peso y una menor puntuación de taza. (Newton, 2017).

## Humedad Del Suelo.

Como ya se mencionó, la lluvia incide de manera directa en la humedad del suelo, esto significa que entre más lluvia caiga, más húmedo será el suelo y en el periodo en el que se recogieron los datos, fue de contrastes entre temporadas lluviosas y soleadas.

**Figura 18**

*Comportamiento de la Humedad del Suelo*



*Nota.* Autoría propia

En la Figura 18, se observa que al inicio de la medición, hacia las 17 horas se registró una humedad del 80% la cual fue disminuyendo con el pasar del tiempo hasta alcanzar un 50% 62 horas después y luego 3 horas más tarde alcanza un valor del 90%, cuatro horas y media después vuelve a caer a un 53%, 50 minutos después vuelve a alcanzar un valor pico de 94%, 24 horas

después el valor vuelve a caer a un 42%, tres horas más tarde el valor se elevó hasta un 162%, 19 horas después el valor de humedad bajó a un 99%, 6 horas después alcanza un valor de 63%, 27 horas más tarde alcanza un valor de 31% y dos horas luego un valor del 50%, 42 horas después un valor del 63% y el registro finaliza dos horas y media luego con un valor del 50%.

Ahora bien, la sobresaturación del suelo está relacionado a las altas precipitaciones de lluvia en el lugar y la cantidad de humedad, que trae como consecuencia un limitado desarrollo del sistema radical de la planta, obteniéndose como resultado plantas nutricionalmente deficientes, con muchas manchas de hierro en las hojas y los frutos y en general baja calidad de los frutos, e incluso hasta la muerte de las plantas. (Peña et al, 2012).

Por otra parte, la deficiencia de agua que se encuentra relacionado con bajas precipitaciones de lluvia en el lugar o temporada seca o de escasas de lluvia, puede traer como consecuencia daños en las cosechas, sobre todo si esto coincide con la temporada de floración de las plantas. (Peña et al, 2012).

Los datos obtenidos en el sistema de monitoreo y correspondiente a este periodo de tiempo, hacen ver que fue una temporada con precipitaciones de lluvia de 6,5 milímetros en promedio y por ende la humedad del suelo fue de 49% que se considera alta por lo que, para solucionar esta problemática el cultivador debe implementar un sistema de drenaje a la planta que permita un desagüe y que la humedad disminuya y sea la adecuada para la planta.

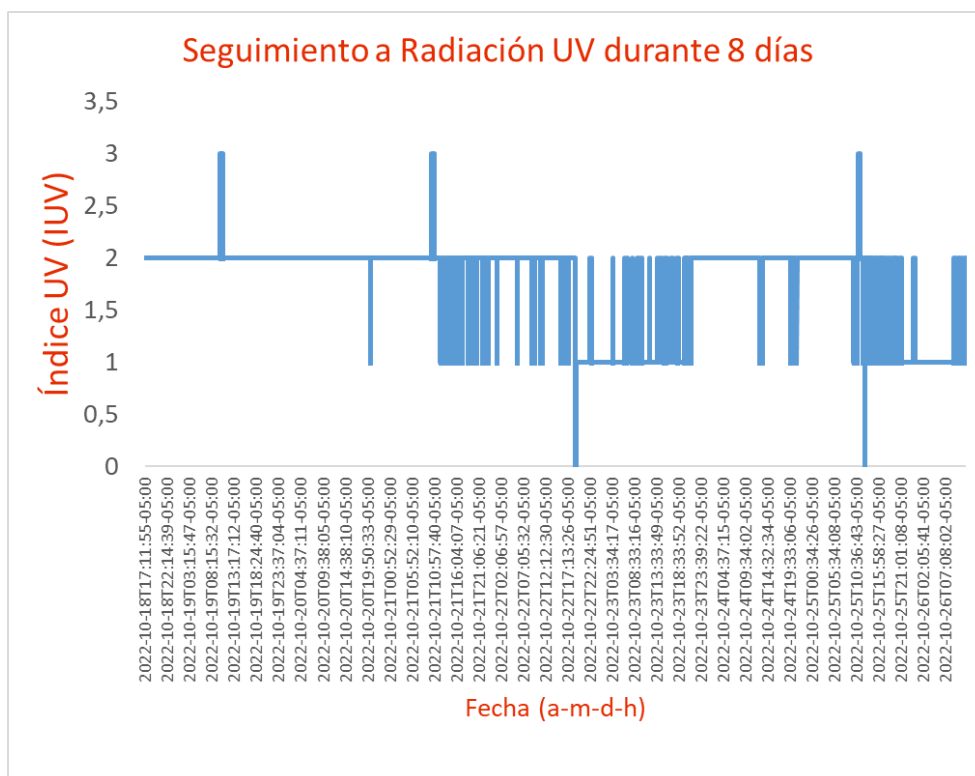
### **Intensidad UV.**

En Colombia la zona cafetera es característica por presentar gran nubosidad durante el día la cual puede ser determinada con base en los registros de brillo solar. Tanto la cantidad como la calidad de radiación solar afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

La disponibilidad de radiación afecta de manera bastante significativa la producción de café, sobre todo si el sistema de producción se realiza bajo árboles de sombrío. (Farfán & Jaramillo, 2013).

**Figura 19**

*Nivel de la Intensidad UV*



*Nota.* Autoría propia

En la figura 19, se observa que el índice de radiación UV para el periodo de tiempo monitoreado y registrado se mantuvo en unos valores entre 0 y 3, es decir entre un valor bajo y moderado según la escala IUV la cual indica que un valor menor a 2 es bajo mientras que valores de 3 a 5 es moderada, de 6 a 7 alta, de 8 a 10 muy alta y de 11 y más extremadamente alta.

## Figura 20

### Escala de Intensidad UV

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
<b>BAJA</b>	<b>&lt; 2</b>
<b>MODERADA</b>	<b>3 A 5</b>
<b>ALTA</b>	<b>6 A 7</b>
<b>MUY ALTA</b>	<b>8 A 10</b>
<b>EXTREMADAMENTE ALTA</b>	<b>11+</b>

Nota. Adaptado de Radiación UV, la luz no tan recomendable [imagen], por Javier Muñoz, Saberes y Ciencias, 2016. (<https://n9.cl/o3opz>).

En la figura 20 se aprecia la escala de radiación UV internacional la cual determina unos valores bajos, aceptable, medios, altos y muy altos con lo cual las personas pueden tomar las medidas preventivas del caso y esto incluso hacerlo extensivo a los cultivos.

Aunque la escala está diseñada para determinar el grado de riesgo en la salud de los humanos, se puede hacer una estimación similar para los cultivos como el café, de tal manera que el máximo valor registrado en la gráfica es 3 y se puede decir que es un valor aceptable tanto para los humanos como para los cultivos de café.

### Temperatura Ambiente

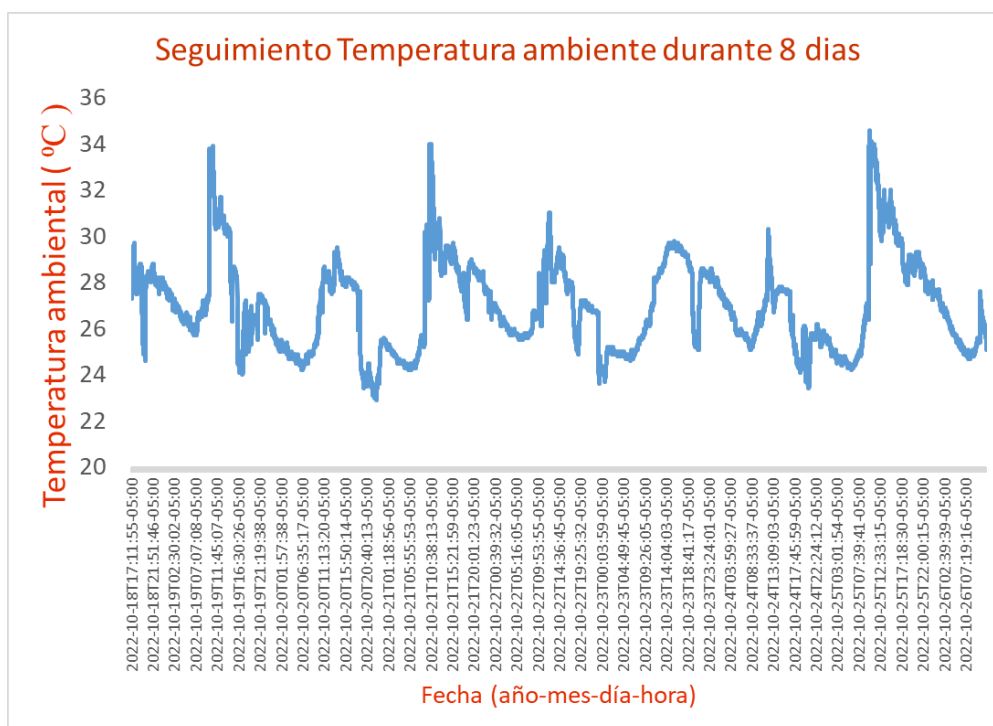
La temperatura durante la temporada monitoreada y registrada, estuvo muy variable y esto es entendible en la medida que cuando hay bastante nubosidad o precipitaciones la temperatura de la región donde se tomaron tales datos típicamente cálida tiende a bajar varios grados.

En la figura 21 se puede observar que la temperatura para ese periodo de tiempo tuvo un comportamiento bastante variable registrándose algunas etapas por lo regular lluviosas y frías

temperaturas de 23 °C y otras etapas soleados temperaturas de 34°C. Ahora bien, la temperatura ambiente es otra variable que debe tenerse en cuenta para los cultivos de café ya que unas temperaturas extremadamente bajas o extremadamente altas inciden en su crecimiento y desarrollo.

**Figura 21**

*Comportamiento de la Temperatura Ambiente*



*Nota.* Autoría propia

Para crecer y desarrollarse, los organismos requieren energía de manera constante, esto puede ser expresado como la temperatura necesaria acumulada para lograr una cierta fase de su desarrollo fenológico llamada “tiempo fisiológico”. (Montoya & Jaramillo, 2016).

Para la mayor parte de los cultivos tropicales, el límite de crecimiento fisiológico inferior se ha establecido en 10°C, mientras el límite superior en 35°C, por fuera de este rango se

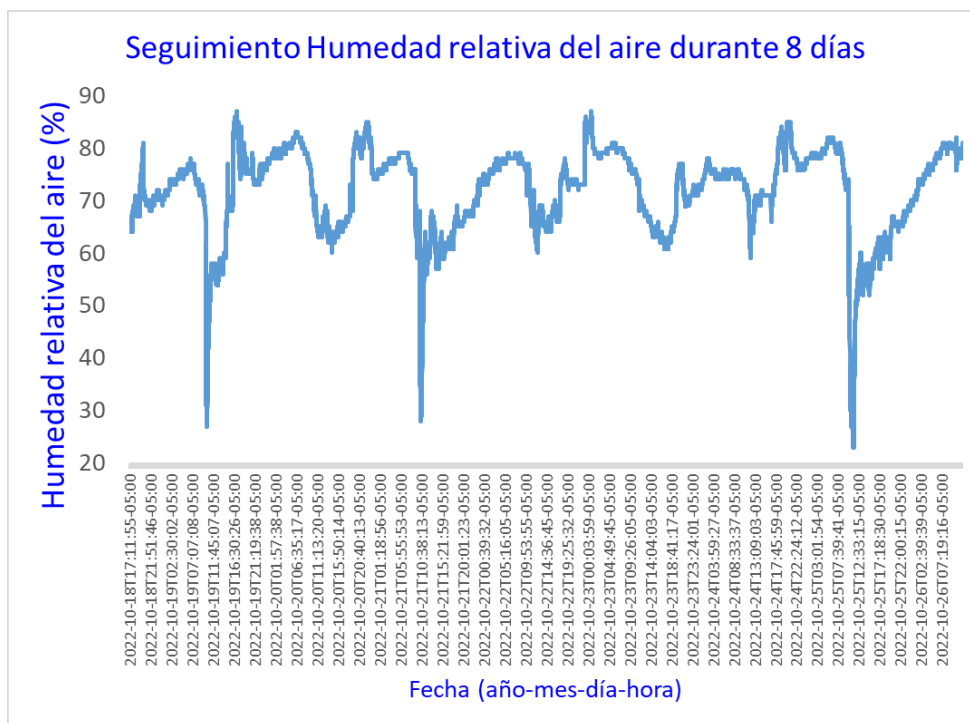
considera nulo el crecimiento y desarrollo. Para el cafeto el rango térmico de adaptación, oscila entre 10 y 32°C, requiriéndose alrededor de 3250 °C acumulados para lograr completar su desarrollo entre la siembra y su primera floración, en tanto que entre la primera floración y la cosecha, se requieren alrededor de 2500 °C, para un total de 5750 °C entre la siembra y la cosecha. (Montoya & Jaramillo, 2016).

### Humedad Relativa.

La humedad relativa del aire puede definirse como la relación existente entre la humedad absoluta que es la cantidad de agua en forma de vapor contenida en el aire y la humedad absoluta de saturación que es la cantidad máxima que el aire podría contener a esa temperatura. (Ocampo, Castañeda y Vélez, 2017).

### Figura 22

*Comportamiento de la Humedad Relativa del Aire*



Nota. Autoría propia

Como se aprecia en la figura 22, para el periodo de tiempo monitoreado y registrado, la humedad relativa del aire se mantuvo básicamente en unos valores entre el 50 y el 80%, (humedad alta) cayendo a veces al 30% y alcanzando picos de un 85%. Ahora bien, la humedad relativa incide como un factor abiótico en plagas como la broca ya que condiciones de baja o alta humedad pueden resultar perjudiciales para que algunas de las especies de estos insectos se reproduzcan. (Giraldo, 2018).

La broca es una enfermedad que ataca de manera directa al grano de café lo que ocasiona pérdidas del peso de este y afectando la calidad de la bebida, esto repercute de manera negativa en los ingresos de los productores. (Giraldo, 2018).

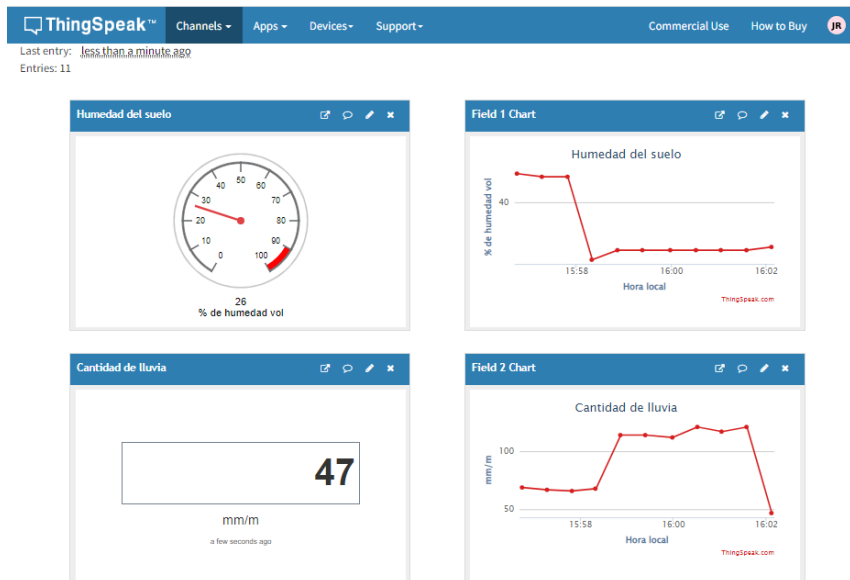
Ahora bien, por medio de investigaciones se ha determinado que cuando la humedad relativa del aire es inferior al 50%, aumenta la mortalidad del insecto causante de la enfermedad, y además de afectar la búsqueda de nuevos frutos por parte de los insectos adultos esto debido a que solo abandonan los frutos ya colonizados ante altas humedades. (Giraldo, 2018).

### **Visualización Remota.**

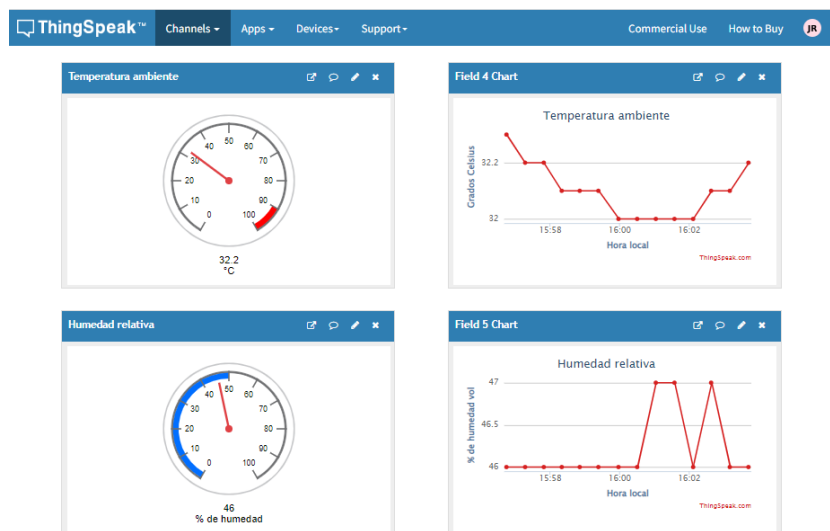
Los datos fueron enviados usando para ello la tecnología WiFi 7 a la página [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com), donde se pudieron visualizar en tiempo real y llevar un registro de su comportamiento durante ese periodo de tiempo.

En las figuras 23 se puede apreciar la interfaz Gráfica de usuario (GUI), y en ella aparecen los instrumentos virtuales de medición de la humedad del suelo con su correspondiente gráfico del comportamiento de dicha variable a lo largo del tiempo.

En la figura 24 también se puede apreciar la GUI y en ella aparecen los instrumentos virtuales de medición de la temperatura ambiental y la humedad relativa también con su correspondiente gráfico del comportamiento durante dicho periodo de tiempo.

**Figura 23***Interfaz Gráfica de Usuario Humedad del Suelo y Cantidad de Lluvia*

*Nota.* Autoría propia

**Figura 24***Interfaz Gráfica de Usuario Temperatura Ambiente y Humedad Relativa*

*Nota.* Autoría propia

## Conclusiones

El cambio climático está incidiendo de manera notable en el clima tanto de Colombia como de todo el planeta y por supuesto esta condición afecta los cultivos y el cafeto no es la excepción. Esto se pudo evidenciar al llevar a cabo el registro de datos de las variables las cuales se tomaron en un periodo de tiempo de 192 horas, donde se registraron etapas temporales lluviosas seguidas de etapas temporales soleadas, temperaturas relativamente bajas durante algunas de esas etapas seguidas de temperaturas altas en las etapas siguientes, y en el caso de las etapas lluviosas incidieron en la humedad del suelo donde se observa unos altos porcentajes de humedad debido a las intensas lluvias y como se mencionó al hacer el análisis del comportamiento de la humedad del suelo, la sobresaturación de este por humedad puede traer como consecuencia cultivos con problemas nutricionales. En cuanto a la temperatura ambiente sabemos que existe un intervalo aceptable para los cultivos de café que es entre 10 y 32°C que además es un rango amplio de temperatura, y la gráfica del comportamiento muestra temperaturas por encima de ese rango, lo que sugiere que se debe implementar un sistema de sombra para proteger los cultivos.

### Referencias bibliográficas

- Arrubla, P., Cárdenas, M & Posada, F. (2010). *Efecto De La Humedad Relativa Sobre La Germinación De Las Esporas De Beauveria Bassiana Y La Patogenicidad A La Broca Del Café Hypothenemus hampei*. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 13 (1), 67-76  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262010000100008&lng=en&tlng=](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262010000100008&lng=en&tlng=).
- Artemis Systems, (S.F.). Sensor de luz ultravioleta ML8511. Consultado el 15 de marzo de 2022.  
<https://module-destepte.ro/en/produse/uv-light-sensor-ml8511/>
- Betancourt Romo, J. (2018). Micro Smart Grid Caso de Telemetría aplicado. [Archivo de video].  
<http://hdl.handle.net/10596/22568>
- Cenicafe. (2021). La agroclimatología del cafeto. Cenicafe.org.  
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/17/15.%20Agroclimatolog%C3%ADa%20cafeto.pdf>
- Constantino, L., Gil, Z., Jaramillo, A., Benavides, P. & Bustillo, A. (2011, July). *Efecto del cambio y la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca del café, Hypothenemus hampei en la zona central cafetera de Colombia*. In Proceedings, Simposio: Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEN (pp. 27-29).  
<https://n9.cl/356c0>
- CVC. (6 de julio de 2021). Con lluvias por encima de promedios históricos terminó el primer semestre de 2021. <https://www.cvc.gov.co/boletin-prensa-189-2021>

Eise, J., White, N. (29 de agosto d 2018). Cafeteros en Colombia luchan por adaptarse a un clima cambiante. The Conversation. <https://theconversation.com/cafeteros-en-colombia-luchan-por-adaptarse-a-un-clima-cambiante-102075>

EOI (2015). Las tecnologías IOT dentro de la industria conectada 4.0. (pp. 11 - 27) [https://static.eoi.es/savia/documents/EOI\\_TecnologiasIoT\\_2015.pdf](https://static.eoi.es/savia/documents/EOI_TecnologiasIoT_2015.pdf)

Farfán, F & Jaramillo, A. *Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región*. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/376/1/avt0379.pdf>

Ferretrónica. (S.F.). Módulo Sensor de Humedad del suelo Resistente a Corrosión. Consultado el 6 de mayo de 2022. <https://n9.cl/2je6j>

Gilchrist, A. (2017). IoT Security Issues: Vol. Primera edición. De|G Press. de [https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1630323&lang=es&site=eds-live&scope=site&ebv=EB&ppid=pp\\_131](https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1630323&lang=es&site=eds-live&scope=site&ebv=EB&ppid=pp_131)

Herrera, M. M., González, S. M., Carazo Luna, J. A., y de León, C. V. C. (2015). Las Redes Inalámbricas De Sensores Y Su Aplicación en El Sector Agroalimentario. Revista de La Alta Tecnología y Sociedad, 7(1), 1–7. <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=https://search-ebscohost-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=110460875&lang=es&site=ehost-live>

<https://ja-bots.com/producto/modulo-sensor-de-lluvia-mh-rd/>

Ja-Bots.com. (S.F.). Módulo sensor de lluvia MH-RD. Consultado el 31 de mayo de 2022.

- Jaramillo, A & Arcila, J. (2009). *Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultura*. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.  
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/1133/1/avt0390.pdf>
- Lliñan Colina, A. Vives, A. Zennaro, M. Bagula, A. Pietrosevoli, E. (2016). Internet of Things in Five Days (pp. 17 – 21): Autoedición. <https://openlibra.com/en/book/internet-of-things-in-5-days>
- López C., F. J., O. Naranjo J., M. Villegas E. y G. Valencia A. (1972), “Influencia de la altitud en el desarrollo de plántulas de café en almácigo”, Cenicafé, vol. 23, núm. 4, pp. 87-97.
- Montoya, E & Jaramillo, A. *Efecto de la temperatura en la producción de café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.  
<file:///D:/UNAD/PROYECTO%20DE%20GRADO/NUevos%20datos/4.Efecto%20de%20la%20temperatura%20ambiente.pdf>
- Newton, T. (14 de agosto de 2017). ¿Cómo Las Lluvias Durante Cosecha Destruyen los Cultivos de Café? *Perfect Daily Grind*. <https://perfectdailygrind.com/es/2017/08/14/como-las-lluvias-durante-cosecha-destruyen-los-cultivos-de-cafe/>
- Nicholls, I y Altieri, M. (2015). *Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas*. Agropecuaria.org. <http://agropecuaria.org/2015/12/cambio-climatico-y-agricultura-campesina-impactos-y-respuestas-adaptativas/>
- Ocampo, O., Castañeda, K. y Vélez, J. (2017). *Caracterización de los ecotopos cafeteros colombianos en el Triángulo del Café*. Perspectiva Geográfica vol.22 no.1. p 103.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-37692017000100089#B22](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-37692017000100089#B22)

- Panhuisen, S., & Pierrot, J. (2014). *Barómetro de café 2014. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Ensayos sobre economía cafetera, 27(30).  
[https://federaciondefcafeteros.org/static/files/5Barometro\\_de\\_cafe2014.pdf](https://federaciondefcafeteros.org/static/files/5Barometro_de_cafe2014.pdf)
- Peña, A., Ramírez, V., Valencia, J. y Jaramillo, A. (2013). *La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia*. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/336/1/avt0415.pdf>
- Pérez, E., Ramírez, V. y Peña, A. (2013). *Variabilidad espacial y temporal de la temperatura del aire en la zona cafetera colombiana*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. Volumen 2016, Número 89. <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S0188461116300206>
- Ramírez, V., Jaramillo, A., Arcila, J. y Montoya, E. (2010). *Estimación de la humedad del suelo en cafetales a libre exposición solar*. Cenicafé, 61(3), 251-259.  
[https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(03\)251-259.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(03)251-259.pdf)
- Semana.com. (2012). Los 10 productos más sembrados. Semana.com.  
<https://especiales.semana.com/especiales/los-10-mas/economia/productos-sembrados.html>
- Sensorgo MKT. (2020). Estaciones Meteorológicas. ¿Qué son y cómo funcionan? Sensorgo.  
<https://sensorgo.mx/estaciones-meteorologicas/>
- SSDielect. (S.F.). Módulo WiFi NodeMCU V3 ESP8266 - Lolin con CH340. Consultado el 22 de noviembre de 2021. <https://ssdielect.com/cb/wifi-sistemas-de-desarrollo-esp8266-wifi/768-nodemcu-lolin-ch340.html>
- Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J. y Ocampo, O. (2013). *Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia*.

- Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S0188461114728225>
- Universidad de Costa Rica. (2021). Sistemas de rastreo y monitoreo. Buenas prácticas agrícolas. Recuperado de <http://www.buenaspracticasadagricolas.ucr.ac.cr/index.php/manejo-de-proteccion-de-cultivos/sistemas-de-rastreo-y-monitoreo>
- Zito, M. (2018). La sustentabilidad de Internet de las Cosas. (Spanish). Cuadernos Del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación, 19(70), 37–44. <https://eds-p-ebsohost-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/eds/detail/detail?vid=2&sid=fbd092f3-2c0a-4745-8d82-c1c61384f812%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#db=asu&AN=125334344>

## Apéndices

### Apéndice A

#### Participación Expotech 2022

**EXPOTECH 2022**  
Industria 4.0 para la innovación,  
la educación, el emprendimiento  
y el desarrollo regional  
27, 28 Y 29 DE SEPT

**UNAD**  
Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia  
ACREDITADA  
EN ALTA CALIDAD

**EXPOTECH 2022**  
"Industria 4.0 para la innovación, la educación, el emprendimiento y el desarrollo regional"

Los organizadores del congreso EXPOTECH 2022 certifican que:

**JAIME RIVERA ROSERO**  
Identificado(a) con documento de identidad número 16740928

Participó en la calidad de ponente en el evento, con el trabajo:  
**Tecnología autónoma solar: Monitoreo de variables climáticas para cultivos de café en el departamento del Cauca**  
Dado en Medellín a los 29 días del mes de septiembre de 2022

*Gloria C. Herrera Sánchez*  
**Gloria C. Herrera Sánchez**  
Directora Zona Occidente

*Claudio Camilo González Clavijo*  
**Claudio Camilo González Clavijo**  
Decano Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e  
Ingeniería

SIS C018B495 SIS C0177981

# Apéndice B

## Póster

### Monitoreo de variables climáticas para cultivos de café en el departamento de Cauca

Álvaro Rivera

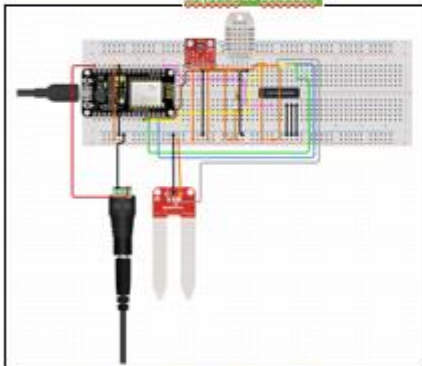
**1. Objetivos.**  
Diseñar e implementar una estación meteorológica que permita el control de variables climáticas como temperatura del ambiente, humedad del suelo, humedad relativa del ambiente, cantidad de lluvia que afectan a los cultivos de café del departamento del Cauca. Control y seguimiento de las variables de temperatura del ambiente, humedad del suelo, humedad relativa del ambiente, cantidad de lluvia a través de sensores electrónicos.

**3. Metodología.**  
Se usan los sensores HD38 para medir la humedad del suelo, ML8511 para medir la intensidad de rayos UV, MH-17 para medir la cantidad de lluvia y el DHT22 para medir la temperatura ambiente y humedad relativa, el multiplexor 74HC4051 como acople con la placa de adquisición de datos NodeMCU ESP8266 la cual posee un módulo wifi para enviar los datos a la nube, a la página ThingSpeak, donde se pueden visualizar en tiempo real y con gráficas de su comportamiento en el tiempo.

**2. Introducción.**  
proyecto para determinar mediante el uso de la tecnología electrónica, (IoT), las condiciones ambientales de los cultivos de café en el Cauca para contribuir a su caracterización, mejoramiento y seguimiento al cultivo, como a la calidad



Esquema de conexión



Temperatura y cantidad de lluvia en tiempo real

**4. Resultados**  
Circuito en prototipo y visualización en tiempo real

