

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño de un sistema agroclimático para el monitoreo y preaviso inteligente y su modelo de negocio para el cultivo de cacao en Naranjito

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presentado por:

Andrés Fernando Toro Chalén

Henry Saúl Altamirano Calle

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi mamá quién siempre estuvo guiándome y dándome la fortaleza necesaria, motivándome a seguir. A mi padre y mis hermanas que siempre me recordaban que podía lograrlo. A mis sobrinos y a toda mi familia que es mi motor de vida.

A mis mejores amigos que siempre estuvieron apoyándome desde el inicio.

Andrés Toro

El presente proyecto quiero dedicarlo a mis padres que siempre estuvieron para mí a lo largo de mi carrera y me guiaron en cada una de las decisiones tomadas, teniendo presente siempre el esfuerzo y el trabajo.

A todas las personas que creyeron en mí y que nunca dudaron de que conseguiría llegar a la meta propuesta, siempre me enviaron sus mensajes de apoyo y hoy en día me envían sus mensajes de felicitaciones.

Henry Altamirano

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mi mamá, Elena Chalén, quién siempre confió y estuvo para mí en los momentos más difíciles, a mi papá Fernando Toro, que siempre me apoyó y aconsejó, a mi hermana la Ing. Paola Toro quien siempre me impulsó a mejorar. A mis familiares, amigos y profesores que formaron parte en mayor y menor medida de esta etapa en mi vida.

A mi profesor PhD. Francisco Novillo por su guía a lo largo de mi carrera.

A mi tutora del proyecto PhD. Patricia Chávez por su paciencia, motivación, ayuda y guía para poder desarrollar correctamente el proyecto.

Y, en primer lugar, a Dios, quien me ayudó a enfrentar todas las adversidades, me dio la fortaleza, sabiduría y estuvo siempre conmigo, sin Él, no hubiese cumplido con este desafío.

Andrés Toro

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, ya que sin Él no hubiese llegado a la meta, siempre puso en mi camino a la gente indicada para que yo pueda aprender y seguir avanzando. En segundo lugar, agradezco a mi madre, la Dra. Cecilia Calle Knezevich y a mi padre, el Arq. Henry Altamirano León, que siempre estuvieron apoyándome y dándome fuerzas para seguir adelante a pesar de las adversidades que se presentaron durante el largo camino recorrido, a mis familiares que estuvieron dándome alientos y que hoy me felicitan por todo lo conseguido.

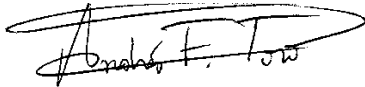
A mi director de proyecto el Dr. Francisco Novillo por brindarme la oportunidad de participar de este gran proyecto y por darme las enseñanzas previas y necesarias de la carrera.

A mi Tutora de proyecto la Dra. Patricia Chávez por siempre ayudarme y guiarme en cada paso, teniendo mucha paciencia y siempre impartíendome el conocimiento para seguir avanzando.

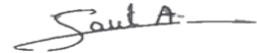
Henry Altamirano

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Andrés Fernando Toro Chalén y Henry Saúl Altamirano Calle damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Andrés Fernando
Toro Chalén



Henry Saúl
Altamirano Calle

EVALUADORES

.....
PhD. Francisco Novillo Parales

PROFESOR DE LA MATERIA


.....
PhD. Patricia Chávez Burbano

. PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Se han realizado predicciones donde el mercado latinoamericano de cacao tiene a una tasa de crecimiento anual de 4.30% durante el período de pronóstico 2023 hasta 2028, América Latina representa una cantidad significativa en la producción global. Recientemente se ha visto una creciente demanda en la industria de alimentos y bebidas relacionadas con el chocolate, dando como resultado un mayor mercado de cacao en América Latina. Se propone un prototipo de sistema agroclimático con la finalidad de realizar mediciones para posteriormente ayudar a reducir el efecto de la moniliasis del cacao, una de las enfermedades de mayor rapidez de propagación. En varias fincas ubicadas en Naranjito existen múltiples plantaciones de cacao, las cuales tienen esta enfermedad mencionada, que provoca complicaciones monetarias y de gestión para los dueños de la finca. La moniliasis del cacao es un hongo que se adapta a diversidad de ambientes, y al pasar el tiempo empeora el estado de los frutos. Los productores realizan el método tradicional conocido como poda, que demanda tiempo y dinero. Para realizar el monitoreo y preaviso inteligente se usará una red de sensores, los cuales tomarán valores de los siguientes factores que se relacionan directamente con la presencia de la moniliasis: Temperatura (ambiente), Humedad Relativa (ambiente), Luminosidad (ambiente), Humedad (suelo). El sistema quedará instalado por un tiempo determinado realizando las respectivas mediciones, generación de una alerta para poder optimizar el método de la poda en las plantaciones de cacao.

Palabras clave: moniliasis, sensores, monitoreo remoto, poda, cacao.

ABSTRACT

Predictions have been made where the Latin American cocoa market has an annual growth rate of 4.30% during the forecast period 2023 to 2028, Latin America represents a significant amount in global production. Recently there has been a growing demand in the chocolate-related food and beverage industry, resulting in a larger cocoa market in Latin America. A prototype of an agroclimatic system is proposed to carry out measurements to later help reduce the effect of cocoa moniliasis, one of the fastest spreading diseases. In several farms located in Naranjito there are multiple cocoa plantations, which have this mentioned disease, which causes monetary and management complications for the owners of the farm. Cocoa moniliasis is a fungus that adapts to a diversity of environments, and over time worsens the state of the fruits. Producers perform the traditional method known as pruning, which demands time and money. To perform intelligent monitoring and warning, a network of sensors will be used, which will take values of the following factors that are directly related to the presence of moniliasis: Temperature (environment), Relative Humidity (environment), Luminosity (environment), Humidity (soil). The system will be installed for a certain time performing the respective measurements, generating an alert to optimize the method of pruning in cocoa plantations.

Keywords: moniliasis, sensors, remote monitoring, pruning, cocoa.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	VI
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN.....	3
1.5 METODOLOGÍA.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 MONILIASIS DEL CACAO.....	5
2.1.1 CONDICIONES QUE FAVORECEN EL DESARROLLO DE LA MONILIASIS.....	5
2.2 SENSOR DHT-22.....	6
2.3 SENSOR HD-38.....	7
2.4 SENSOR LDR.....	8
2.5 MICROCONTROLADORES.....	9

2.6	ESTÁNDAR IEEE 802.11	10
3.	DISEÑOS DE LA SOLUCIÓN.....	11
3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	11
3.2	BLOQUE SENSORES.....	13
3.2.1	CONEXIONES Y PROGRAMACIÓN.....	13
3.2.2	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO CON LOS SENSORES.....	15
3.3	BLOQUE COMUNICACIÓN CON MÓDULO ESP-32	15
3.4	BLOQUE ENVÍO DE DATOS A LA NUBE	16
3.5	BLOQUE VISUALIZACIÓN DE MEDICIONES EN DASHBOARD CAYENNE	17
3.6	BLOQUE CONFIGURACIÓN DE LA ALERTA	20
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
4.1	IMPLEMENTACIÓN	22
4.2	CONFIGURACIÓN DE LA ALERTA.....	25
4.3	PRUEBAS	27
4.4	RESULTADOS	30
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
	BIBLIOGRAFÍA	37
	APÉNDICES	39

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LDR	Light Dependent Resistor
LED	Light-Emitting Diode
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
WIFI	Wireless Fidelity

SIMBOLOGÍA

gr	Gramo
m	Metro
mm	Milímetro
mW	Milivatio
V	Voltio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Diagrama de Bloques del Diseño de la Solución	12
Figura 3.4 Interfaz página principal Cayenne.....	18
Figura 3.7 Visualización de las Mediciones	19
Figura 3.8 Visualización de las Mediciones	20
Figura 4.1 Esquema de la implementación del dispositivo	23
Figura 4.2 Dispositivo instalado y funcionando	24
Figura 4.3 Webhooks integrations en IFTTT	25
Figura 4.4 Sección Create del Webhook	26
Figura 4.5 Opción para recibir solicitud web	26
Figura 4.6 Selección método de envío de la alerta.....	27
Figura 4.8 Temperatura del ambiente 15 de enero.....	30
Figura 4.9 Humedad del ambiente 15 de enero	31
Figura 4.10 Humedad del suelo 15 de enero	32
Figura 4.11 Luminosidad 15 de enero.....	33
Figura 4.12 Notificación de la alerta.....	34
Figura 4.13 Nivel de Incidencia de la Moniliasis.	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones Sensor DHT-22 [8].....	7
Tabla 2.2 Especificaciones Sensor HD-38 [9].....	8
Tabla 2.3 Especificaciones Sensor LDR [10].....	9
Tabla 2.4 Especificaciones ESP-32 [12]	9
Tabla 2.5 Banda de Operación del Estándar IEEE 802.11 [13].....	10
Tabla 4.1 Ficha técnica del dispositivo instalado.....	29

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1 Módulo ESP-32.....	39
Apéndice 2 Sensor de Humedad del Suelo HD-38.	39
Apéndice 3 Sensor de Luminosidad LDR	40
Apéndice 4 Sensor de Temperatura y Humedad del Ambiente DHT-22	40
Apéndice 5 Código del Sistema Agroclimático.....	43

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El mercado de cacao en América Latina obtuvo 3.800 millones de dólares en 2021. Se han realizado predicciones donde el mercado latinoamericano de cacao tiene a una tasa de crecimiento anual de 4.30% durante el período de pronóstico 2023 hasta 2028, debido a la demanda creciente del producto en la industria del chocolate [1].

Gran parte del mercado de cacao está compuesto por países de África, sin embargo, América Latina representa una cantidad significativa en la producción global. Recientemente se ha visto una creciente demanda en la industria de alimentos y bebidas relacionadas con el chocolate, dando como resultado un mayor mercado de cacao en América Latina. Cabe mencionar que el consumo de otros productos recubiertos de chocolate impulsa aún más este mercado [1].

Según la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao e Industrializados del Ecuador (Anecacao), el año 2021 fue positivo para el cacao y sus semielaborados, superando los 950 millones de exportaciones, colocándose Ecuador en primer lugar en países de mayor exportación en América. La proyección es superar las 380 000 toneladas al finalizar el 2022 y llegar en 2025 a las 500 000 toneladas exportadas por el Ecuador, basándose en la cantidad de plantas vendidas a productores [2].

El cacao representa un pilar principal en la economía del país, por esto, es necesario proteger la producción de las enfermedades. El presente documento propone un prototipo de sistema agroclimático con la finalidad de realizar mediciones para posteriormente ayudar a contener la moniliasis del cacao, una de las enfermedades de mayor rapidez de propagación.

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En varias fincas ubicadas en Naranjito existen múltiples plantaciones de cacao, las cuales tienen una enfermedad endémica conocida como moniliasis que provoca complicaciones monetarias y de gestión para los dueños de la finca [3].

La moniliasis del cacao es un hongo que se adapta a diversidad de ambientes, y al pasarel tiempo empeora el estado de los frutos haciendo que se dañen y no sirvan para una cosecha óptima [3]. La rapidez de propagación de la enfermedad es muy alta, el viento provoca que viaje un aproximado de dos metros a la redonda, contaminando las mazorcas de otros árboles cercanos [3]. Los productores, para mitigar el efecto de esta enfermedad, realizan el método tradicional conocido como poda, donde inspeccionan toda su plantación en búsqueda de mazorcas contaminadas. Este proceso lo realizan endeterminados períodos del año de forma diaria, representando pérdidas de tiempo y de dinero a más de las ya comentadas por la enfermedad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Ecuador es uno de los mayores exportadores de cacao en América [4], por lo quemuchas empresas, trabajadores, y por ende familias de varios estratos sociales, dependen de la calidad y cantidad del producto. Las enfermedades del cacao, principalmente la moniliasis, representa el principal problema en la producción del granodel cacao [5], y pueden causar enormes pérdidas económicas, en muchos casos, afectando la cosecha en su totalidad [5].

Se ha observado que ciertas condiciones climatológicas se relacionan directamente con la proliferación de esta enfermedad, como por ejemplo la lluvia y la temperatura [6]. La detección temprana de la variación de estos factores climáticos podría limitar la propagación en la plantación. Se puede optimizar el método de poda del productor, aminorando las pérdidas económicas y de tiempo.

1.3 OBJETIVOS

Para la realización de este proyecto, se han establecido los siguientes objetivos de acuerdo con la conectividad con internet, funcionamiento y mediciones del dispositivo

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e Implementar una red de sensores para un sistema agroclimático, capaz de monitorear y alertar de las condiciones propicias para el avance de la moniliasis en una plantación de cacao.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un prototipo de redes de sensores para la medición de variables climatológicas.
- Implementar el sistema diseñado en las plantaciones de cacao para realizar las respectivas pruebas.
- Evaluar las condiciones climáticas que propician el avance de la moniliasis del cacao, para generar una alerta al productor sobre el momento idóneo de realizarla poda de las mazorcas contaminadas.

1.4 PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN

Para poder determinar si las condiciones que propician una alta incidencia de la moniliasis en plantaciones de cacao se encuentran presentes, se propone construir un sistema agroclimático. Este sistema mediante el despliegue de una red de sensores obtendrá los datos de los parámetros relacionados directamente con la presencia de la enfermedad. De esta manera poder alertar de forma temprana sobre la presencia de estas condiciones.

Se diseñará e implementará el prototipo, luego se procederá a su instalación en la finca ubicada en el recinto Primavera, en una zona delimitada de 1550 metros cuadrados. La red de sensores estará dentro de una carcasa capaz de proteger nuestro circuito de las condiciones climatológicas comunes de la zona. Los datos obtenidos nos ayudarán a determinar si se han alcanzado las condiciones propicias para la proliferación de la moniliasis (enfermedad del cacao), evitando su propagación.

Para realizar el monitoreo y preaviso inteligente se tendrá en cuenta los siguientes factores que se relacionan directamente con la presencia de la moniliasis: Temperatura (ambiente), Humedad Relativa (ambiente), Luminosidad (ambiente), Humedad (suelo).

1.5 METODOLOGÍA

Para efectuar la correcta implementación del dispositivo y realizar las respectivas pruebas, como primer paso se analizaron las características del terreno donde vamos a realizar las mediciones. Se tomó en cuenta factores como la disponibilidad de red en el sector y fuentes de alimentación. Una vez analizado esto, se escogió utilizar el módulo ESP-32, gracias a sus características de poder establecer conexión con internet mediante WiFi, puesto que se tiene la finalidad de enviar estos datos a la nube. ESP-32 también cuenta con una gran facilidad al momento de programar.

Posteriormente, se decidieron los sensores que optamos por utilizar, de acuerdo con las condiciones que se relacionan directamente con la proliferación de la moniliasis. Los sensores son: DHT-22 para temperatura y humedad del ambiente, HD-38 para la humedad del suelo y el LDR para la luminosidad del sitio.

Se realizó el diseño del circuito conectando el ESP-32 con los tres sensores. Luego se utilizó el Software de Arduino IDE para programar el módulo ESP-32 y establecer comunicación con cada uno de los sensores, a la vez que se decidió el *dashboard* en el cual presentaremos las mediciones obtenidas y enviadas a la nube

Para la implementación del sistema, se instaló el circuito en una carcasa diseñada para protegerlo de factores como el polvo, lluvia y viento. En el sitio escogido para realizar las mediciones, conectamos el sistema a una extensión eléctrica. El ESP-32 se programará de acuerdo con la dirección de red de la casa del cliente para lograr transmitir los datos a la nube y posteriormente al *dashboard*. El sistema quedará instalado por un tiempo determinado realizando las respectivas mediciones, poder sacar conclusiones y generarla alerta al productor sobre en qué momento es óptimo realizar la poda.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detallarán los conceptos, sensores y tecnologías utilizadas para la propuesta de solución, las diferentes especificaciones técnicas que determinarán el rendimiento de nuestro sistema en las condiciones climáticas del lugar donde realizarás mediciones.

2.1 MONILIASIS DEL CACAO

Los primeros registros de la enfermedad en América Latina corresponden a finales del siglo XIX; reportado por primera vez en Ecuador en 1895, luego en 1917 se detectó la moniliasis en la región de Quevedo-Ecuador, de donde se esparció a Perú y Colombia ocasionando abandono de plantaciones completas [7].

Moniliophthora Roreri es un hongo hemibiotrófico (forman inicialmente una asociación de células vivas y más tarde con tejido muerto), la infección comienza cuando las esporas reproductivas del hongo llegan a la superficie de las mazorcas. Por condiciones de humedad y temperatura germinan ingresando al interior de la mazorca causando daños internos en las primeras etapas de la enfermedad. Luego de 40 a 80 días se presentan los síntomas externos en forma de manchas oscuras, siendo las mazorcas asintomáticas en estos primeros períodos de la enfermedad, no presentan lesiones visibles. Luego empieza a formarse un polvo blanco en la superficie, mismo que permite al hongo propagarse fácilmente por medio del viento, o agua [3].

2.1.1 CONDICIONES QUE FAVORECEN EL DESARROLLO DE LA MONILIASIS

Las condiciones de alta humedad y temperatura en el ambiente favorecen el desarrollo del hongo. Estas condiciones coinciden con el principal período de cosecha de cacao que se da en épocas lluviosas, causando mayores pérdidas en los cultivos. La

enfermedad es uno de los principales factores limitantes para la producción de cacao en los países productores incluyendo Ecuador. El desconocimiento de algunas prácticas agronómicas como la poda, recolección y eliminación de las mazorcas infectadas, incrementan su incidencia [3].

De acuerdo con lo expuesto, hemos analizado los parámetros relacionados directamente con la incidencia de la moniliasis, convirtiéndose en el pilar fundamental de nuestro dispositivo al conocer con cuáles variables se necesitan trabajar. Partiendo de aquí, se ha decidido utilizar sensores que logren medir dichos parámetros para poder tener un control en la plantación. A continuación, observaremos las características de los componentes que utilizaremos en nuestro prototipo, determinando la factibilidad de acuerdo con las temperaturas de operación, rango de conectividad y forma de recolección de datos.

2.2 SENSOR DHT-22

El DHT-22 (AM2302) funciona con Arduino y es el sensor encargado de medir la temperatura y humedad relativa del ambiente, lo cual cubre con dos de los parámetros que necesitamos medir para el proyecto. Las mediciones serán mostradas por señal digital [8].

El DHT-22 fue seleccionado para el proyecto debido a su alta precisión y durabilidad [8], por lo que optamos por este sensor para el prototipo. Los parámetros del sensor tal como voltaje de operación y rango de medición de temperatura y humedad cumplen con los requerimientos del proyecto. Además, la temperatura de operación nos asegurará que funcionará correctamente y obtendrá mediciones precisas, tal como se observa en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Especificaciones Sensor DHT-22 [8].

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Operación DC	3 [V]-5 [V]
Intervalo de mediciones Temperatura	Desde -40°C a 80°C
Precisión para temperatura	$<\pm 0.5$ °C
Sensibilidad para Temperatura	Aproximadamente 0.1°C
Intervalo de mediciones Humedad	De 0 a 100%
Precisión para Humedad	Aproximadamente 2%
Sensibilidad para Humedad	Aproximadamente 0.1%
Tiempo para cada medición	2 [s]
Interfaz digital	Single-Bus (Bidireccional)
Modelo	AM2302
Dimensiones	20x15x8 [mm]
Peso	3 [gr]

2.3 SENSOR HD-38

Es un módulo el cual se encargará de realizar las mediciones de la humedad del suelo en la plantación de cacao.

Las puntas o sonda del sensor están estructuradas con la finalidad de soportar las condiciones del suelo en el estar instalado. Cuenta con sensibilidad ajustable por medio del potenciómetro. Está constituido por el sensor en sí y la sonda, tendremos además una salida de forma analógica y otra salida de forma digital [9]. Los parámetros de este sensor cumplen con los requerimientos del proyecto. Los valores de voltaje de operación y corriente se encuentran dentro de los rangos con los que se trabajará en el prototipo como podemos observar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Especificaciones Sensor HD-38 [9].

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Operación DC	3.3 [V]-12 [V]
Corriente	30 [mA]
A0	Esta Salida analógica será proporcional al porcentaje de humedad
D0	Salida digital
Peso	2 [g]
Dimensiones	36x15x7 [mm]

2.4 SENSOR LDR

Otro de los parámetros que tendremos en consideración, es el de luminosidad; la incidencia de la luz en la plantación se relaciona con el nivel de propagación de la moniliasis, aunque de forma indirecta y en menor impacto comparado a los parámetros de temperatura y humedad del ambiente [3].

Para poder obtener las mediciones, se optó por utilizar el sensor LDR que es capaz de detectar la intensidad de luz en un determinado espacio; este módulo sensor también conocido como sensor de fotorresistencia [10]. Los parámetros del sensor tal como voltaje de operación cumplen con los requerimientos del proyecto. Además, la temperatura de operación nos asegurará que funcionará correctamente en nuestro prototipo tal como se observa en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Especificaciones Sensor LDR [10].

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Operación DC	3.3 [V]- 5[V]
Máxima disipación de Potencia	200 [mW]
Sensibilidad	Ajustable-Potenciómetro
Temperatura de Operación	-25°C a 75°C

2.5 MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un tipo de circuito integrado que incluyen un mínimo de un microprocesador, memoria y módulo de entrada-salida. Dependiendo de la complejidad, se incluyen componentes adicionales como temporizadores, contadores, circuitos de control de interrupciones, módulos de comunicación, convertidores de analógico a digital [11].

Para poder establecer comunicación y control con cada uno de los sensores, optamos por utilizar el módulo ESP-32. De acuerdo con sus características, lograremos conectividad de los datos obtenidos de los sensores junto con el Internet mediante Wi-Fi. Además de que se programará el funcionamiento de cada uno de los sensores al conectar el ESP-32 al PC junto con el software Arduino IDE. Los parámetros del módulo total como voltaje y temperatura de operación se adaptan correctamente a nuestro prototipo. Asegurando que funcionará sin problemas tal como se observa en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Especificaciones ESP-32 [12].

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Operación DC	3.3 [V]- 5[V]
Temperatura de Operación	-25°C a 125°C
Wi-Fi	802.11b/g/n, 2.4[GHz]
Bluetooth	Doble banda, classic y BLE
Dimensiones	51x23x8 [mm]
Peso	6.8 [gr]

2.6 ESTÁNDAR IEEE 802.11

Wi-Fi es un sinónimo en muchos casos de acceso inalámbrico de internet. Es una marca específica que pertenece a *Wi-Fi Alliance*, un grupo que certifica que todos los productos Wi-Fi cumplen con los estándares IEEE 802.11. Tenemos varios estándares dentro de 802.11 que nuestros dispositivos utilizan para conectarse a internet, estableciendo la comunicación con un bajo consumo y una mínima infraestructura [13].

El estándar Wi-Fi 802.11 b/g/n se refiere a los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n combinados en un solo estándar. En términos generales, el dispositivo es capaz de funcionar en bandas de Wi-Fi de 2.4 GHz la cual es una banda libre, con soporte para un ancho de banda de canal de 20/40 MHz. Como se puede verificar en la tabla 2.5, y que nos permitirá trabajar sin requerir las licencias de banda [13].

Utilizaremos este estándar que posee el módulo ESP-32, para enviar las mediciones obtenidas por los sensores de nuestro prototipo hacia la nube. Donde podremos visualizar cada una de las variables humedad del suelo, luminosidad del ambiente, temperatura y humedad del ambiente mediante el *dashboard* Cayenne.

Tabla 2.5 Banda de Operación del Estándar IEEE 802.11 [13].

Protocolo 802.11	Frecuencia (GHz)	Modulación	Ancho de Banda (MHz)
a	5	OFDM	20
b	2.4	DSSS	20
g	2.4	OFDM & DSSS	20
n	2.4 & 5	OFDM	20 & 40

CAPÍTULO 3

3. DISEÑOS DE LA SOLUCIÓN

Para poder describir el proyecto y determinar los elementos del prototipo a utilizar, analizaremos las características de la problemática, la conectividad en el sector, puntos de fuentes de alimentación para conectar nuestro dispositivo. Las condiciones climatológicas del sitio también entran en consideración para la instalación del prototipo, las temperaturas óptimas, mínimas y máximas para que opere cada componente correctamente. A continuación, se describirá el proyecto explicando el diseño y funcionamiento del prototipo.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La propuesta de la solución consiste en el diseño e implementación de un prototipo que realice mediciones. Como hemos declarado anteriormente necesitamos medir temperatura del ambiente y humedad del ambiente, también humedad del suelo y luminosidad en el sector, estos son los parámetros relacionados directamente con la proliferación de la moniliasis.

Se recolectarán estas mediciones de forma periódica y su visualización será a través del *dashboard* Cayenne. Posteriormente se analizarán los resultados para determinar si existen las condiciones propicias para la proliferación de la enfermedad, la cual podría afectar a toda la producción si no se actúa a tiempo. Se generará una alerta que llegará como notificación al celular del cliente, para que realice la poda de forma más efectiva. La instalación del prototipo se realizará en una finca ubicada en Naranjito, en un terreno delimitado de aproximadamente 1550 metros cuadrados.

Para la alimentación del dispositivo, utilizaremos una extensión desde la casa del cliente hasta el sitio en la plantación de cacao ubicado a unos 18 metros aproximadamente donde lo instalaremos. En el sector hay presencia de conectividad a internet desde un

punto de acceso en la casa del cliente, permitiendo conectarnos directamente para poder realizar el siguiente paso de enviar las mediciones a la nube.

Para protección del dispositivo y salvaguardar cada componente de la lluvia, polvo, animales y demás condiciones, se ha decidido diseñar una carcasa protectora donde se encontrará el circuito. El diseño de esta carcasa está sujeto a el espacio ocupado por el circuito, las temperaturas de operación de los sensores, y en general la temperatura emanada por todo el dispositivo.

Para la instalación el dispositivo permanecerá fijo en el sitio, realizando las mediciones, para lo cual se instalará un tubo tipo estaca, el cual además otorgará portabilidad. La sonda del sensor HD-38, pasará por este tubo hasta llegar al suelo, de esta forma realizará las mediciones. En la Figura 3.1 observamos los pasos de solución del proyecto mediante un diagrama de bloques. Se explicará cada parte del diagrama junto con su desarrollo.



Figura 3.1 Diagrama de Bloques del Diseño de la Solución.

3.2 BLOQUE SENSORES

Para poder realizar las mediciones, contamos con sensores que se encargarán de los parámetros previamente expuestos. El sensor DHT-22 realizará mediciones de temperatura y humedad del ambiente, el sensor HD-38 realizará mediciones de humedad del suelo y el sensor LDR que se encargará de medir la incidencia de luminosidad en el lugar. Utilizaremos el módulo ESP-32 y conectaremos los tres sensores para realizar la programación en el software Arduino IDE.

3.2.1 CONEXIONES Y PROGRAMACIÓN

Para que funcionen los sensores destinados a medir los parámetros requeridos del proyecto, debemos conectarlos y configurarlos en el módulo ESP-32 con el software Arduino IDE. Conectaremos todos los sensores en el módulo, utilizando además un *protoboard* como apoyo. Para el prototipo final se cambiará este *protoboard* por un *printed circuit board* (PCB).

- **DHT-22**

Tenemos tres pines en el sensor: DATA, GND y el VCC, se conectan al módulo ESP-32. El VCC lo conectamos con el pin de 5V, GND irá conectado a uno de los pines GND, y el pin DATA del sensor irá conectado en el pin 26 del ESP-32. Luego de realizar las respectivas conexiones, para empezar a obtener mediciones del sensor, debemos configurar en el software Arduino IDE, por lo que será necesario instalar la librería *DHT sensor library*. Primero conectamos el ESP-32 a nuestra PC, procedemos a subir el código, determinando un tiempo de prueba de intervalos, donde obtendremos mediciones tanto de temperatura como de humedad del ambiente. Los resultados serán en forma de grados Celsius para la temperatura y de porcentaje en humedad. Se comprueba que el sensor funciona correctamente al correr el programa, obteniendo valores dentro del rango normal para las condiciones de prueba.

- **HD-38**

Para este sensor, conectaremos los pines AO, GND y VCC en los pines 25, GND y 5V del ESP-32 respectivamente. Conectamos el módulo al PC, realizamos la programación y corremos el programa para verificar el funcionamiento. El sensor cuenta con una sonda, que será ubicada unos centímetros por debajo de la tierra para obtener correctamente las mediciones, tendremos los resultados de humedad del suelo en porcentaje.

- **LDR**

Para este sensor, tenemos los pines VCC, GND, AO, que irán conectados con los pines 5V GND y 33 del ESP-32. De igual forma conectamos a la PC, para poder realizarla configuración, determinar el intervalo de medición y poder comprobar su funcionamiento. Para este caso podremos programar para que los resultados se presenten en porcentaje.

A continuación, en la Figura 3.2 podremos observar cómo queda nuestro circuito con todos los sensores conectados al ESP-32. Para realizar el diagrama esquemático, utilizamos el software Proteus, especificando cada conexión con su respectivo pin.

3.2.2 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO CON LOS SENSORES

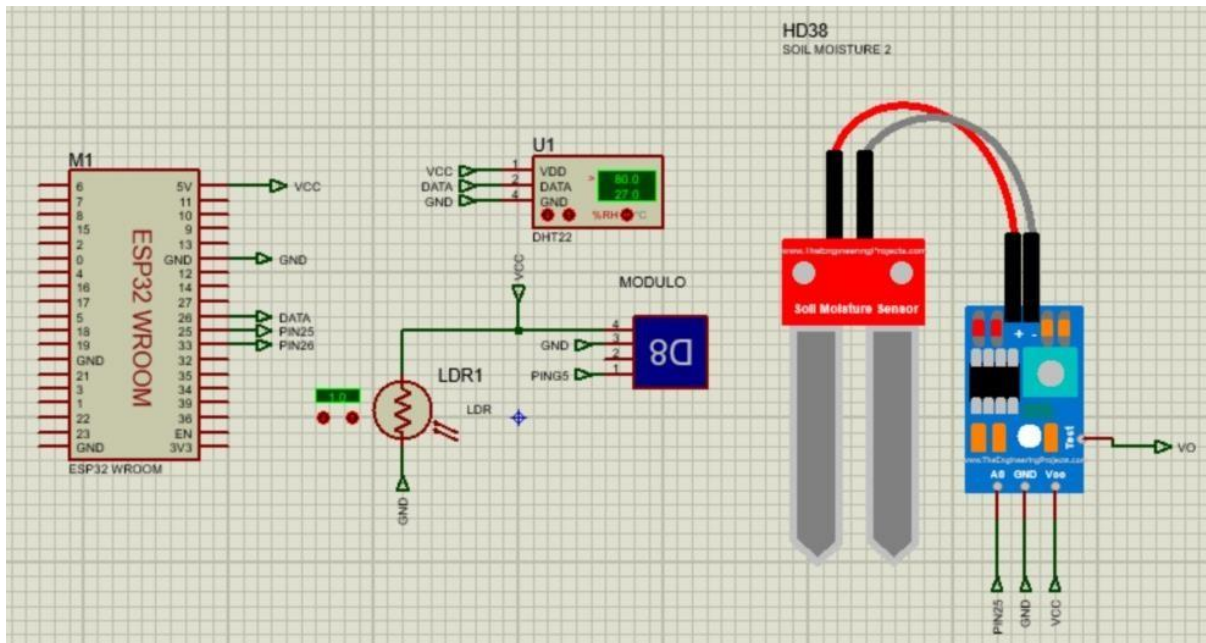


Figura 3.2 Diagrama Esquemático del Circuito.

3.3 BLOQUE COMUNICACIÓN CON MÓDULO ESP-32

Cada sensor requiere establecer comunicación con el módulo ESP-32, para poder obtener las mediciones, visualizarlas y además establecer conexión con la red para posteriormente ver los datos desde un celular o PC. Al ser parte fundamental en el desarrollo de la solución, luego de realizar la configuración de los sensores debemos determinar si existe comunicación.

Para esto nos conectaremos mediante un cable de datos a la PC, corriendo el software Arduino IDE, observaremos las mediciones realizadas. La configuración se da de tal forma que se observarán las mediciones de cada parámetro simultáneamente. La comunicación con el ESP-32 se encuentra establecida, se puede configurar el tiempo de medición de datos, esto es clave en determinados momentos donde los parámetros se mantengan constantes durante un período de tiempo. Podemos observar en la Figura

3.3 la interfaz en que se presentan las mediciones, para pruebas posteriores realizaremos con una conexión eléctrica, alimentando directamente el módulo ESP-32, de esta forma no será necesario tenerlo conectado a una PC.



Figura 3.3 Interfaz mediciones en Arduino IDE.

3.4 BLOQUE ENVÍO DE DATOS A LA NUBE

En este paso, se procederá a realizar la conexión con WiFi, para lo cual será necesario modificar en el código del ESP-32, se agrega un char para el SSID que sería el nombre de la red WiFi y otro char para la clave, concatenando estos parámetros. Además, se deberá agregar un *dashboard*, por lo que debemos incluir la librería del *dashboard* a utilizar, se eligió Cayenne para la realización del proyecto. La librería que se agrega es la MQTT ESP; iniciamos el Cayenne, se deberá agregar el *username* y *password* de nuestra cuenta en Cayenne previamente generada. Una vez realizado esto, nuestro dispositivo se encontrará enlazado a la nube, al realizar las mediciones serán enviadas a la nube, las cuales posteriormente se podrán visualizar en la página de Cayenne.

En la casa del cliente tenemos disponibilidad de Internet mediante WiFi, lo cual es de gran utilidad para el proyecto. La instalación del dispositivo se realizará dentro de la plantación de cacao, a unos 18 metros aproximadamente de la casa del cliente, donde no llega la señal WiFi. Para poder implementar lo anteriormente expuesto, tuvimos que adecuar un punto de conexión de corriente eléctrica a unos nueve metros aproximadamente. En este sitio se instaló un extensor de señal WiFi, donde su objetivo será extender la señal de la casa del cliente.

3.5 BLOQUE VISUALIZACIÓN DE MEDICIONES EN DASHBOARD CAYENNE

Como parte del proyecto tenemos la característica de poder observar las mediciones de todos los parámetros. Para esto, optamos por utilizar un *dashboard*. Debe permitir mostrar los datos mediante gráficos, valores numéricos en tiempo real y además se pueda tener un control de los mismos gracias al acceso de datos históricos, logrando comparar mediciones entre fechas diferentes. Elegimos implementar a nuestro dispositivo el *dashboard* Cayenne, compatible con el módulo que estamos utilizando, para lo cual nos conectamos a la PC. Se realiza la codificación para la sincronización de cada una de las mediciones de nuestros sensores con Cayenne.

Podremos configurar canales por separado para cada parámetro. En la Figura 3.4 observamos la interfaz de la página principal de Cayenne, donde elegiremos *customizable dashboard* para personalizar la interfaz de presentación de datos. En la Figura 3.5 tenemos nuestro sistema ya sincronizado con Cayenne, tenemos el nombre del dispositivo, el ID del cliente, usuario y contraseña.

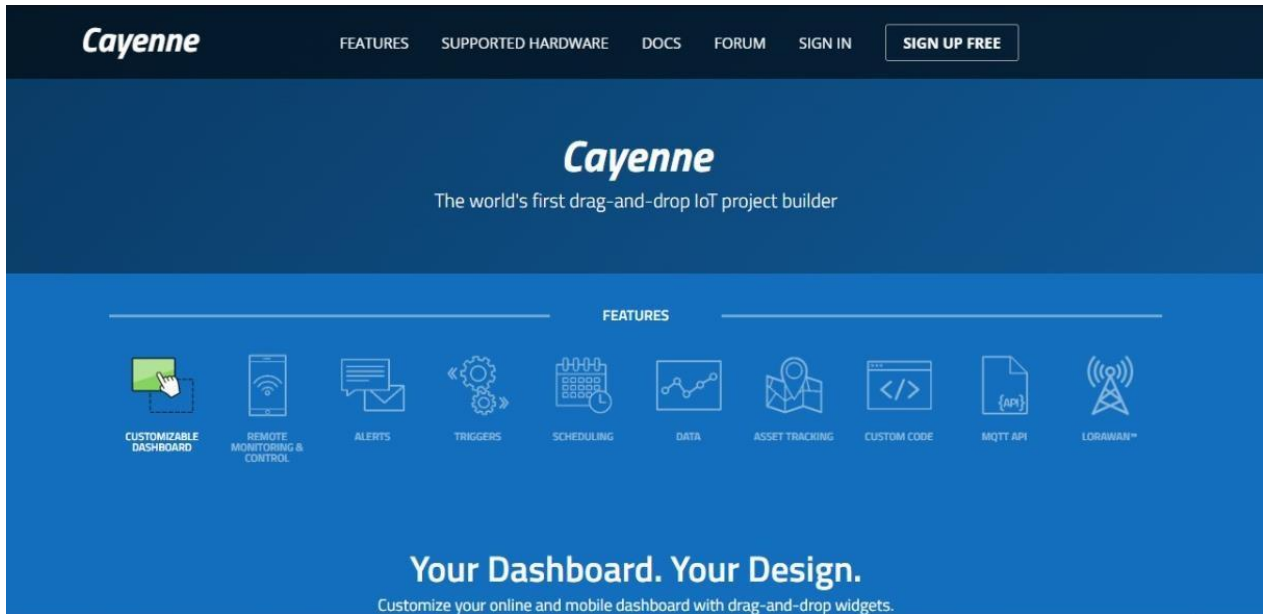


Figura 3.4 Interfaz página principal Cayenne.

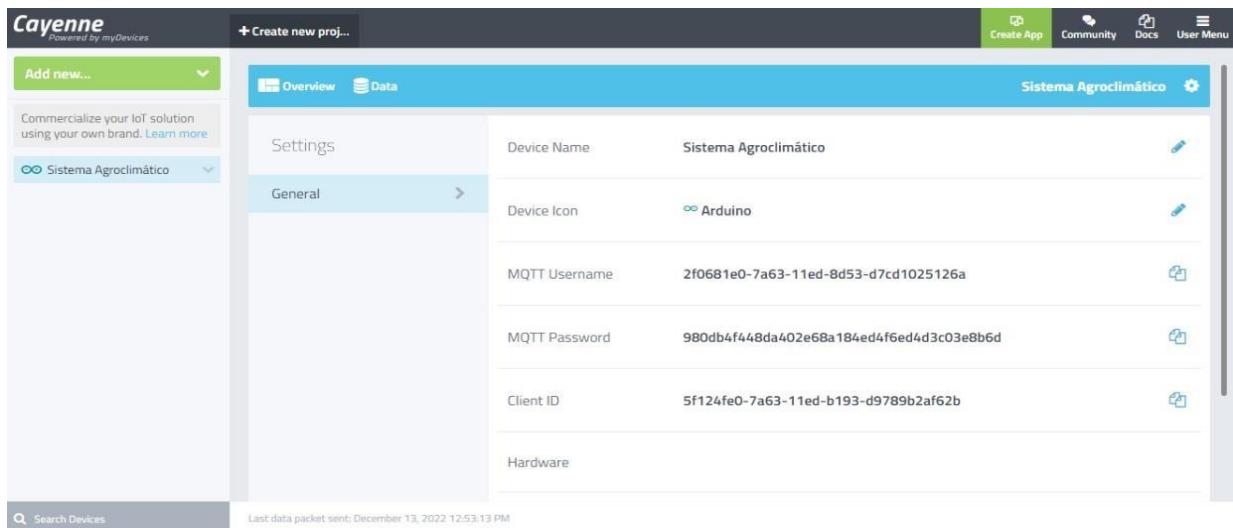


Figura 3.5 Uso del dashboard Cayenne

Luego de comenzar a utilizar el *dashboard* Cayenne, procedemos a enviar la información para poder visualizarlas en la página web, con los canales para cada parámetro por separado, se debe ingresar con usuario y contraseña. Como observamos en la Figura 3.6 tenemos las mediciones con su respectiva fecha, hora y cada canal por separado, además de visualizar los resultados de las mediciones. En las Figuras 3.6 y

3.7 tenemos las mediciones presentadas con otra interfaz, separadas por cada canal mostrando los resultados, así como en gráficas.

Timestamp	Devic...	Channel	Sensor Name	Sensor ID	Data T...	Unit	Values
2022-12-13 12:53:35	Sistema A...	3	Luminosidad	9d3c91d0-7a78-11ed-b...			100
2022-12-13 12:53:35	Sistema A...	2	Humedad Del Suelo	9c4a90b0-7a78-11ed-b...			615
2022-12-13 12:53:35	Sistema A...	1	Temperatura Del Ambiente	9ae2ea60-7a78-11ed-b...			30
2022-12-13 12:53:35	Sistema A...	0	Humedad Del Ambiente	99628bf0-7a78-11ed-b...			57
2022-12-13 12:53:24	Sistema A...	2	Humedad Del Suelo	9c4a90b0-7a78-11ed-b...			2782
2022-12-13 12:53:24	Sistema A...	3	Luminosidad	9d3c91d0-7a78-11ed-b...			100
2022-12-13 12:53:24	Sistema A...	1	Temperatura Del Ambiente	9ae2ea60-7a78-11ed-b...			30
2022-12-13 12:53:24	Sistema A...	0	Humedad Del Ambiente	99628bf0-7a78-11ed-b...			57
2022-12-13 12:53:13	Sistema A...	3	Luminosidad	9d3c91d0-7a78-11ed-b...			100
2022-12-13 12:53:13	Sistema A...	2	Humedad Del Suelo	9c4a90b0-7a78-11ed-b...			3062
2022-12-13 12:53:13	Sistema A...	1	Temperatura Del Ambiente	9ae2ea60-7a78-11ed-b...			30
2022-12-13 12:53:13	Sistema A...	0	Humedad Del Ambiente	99628bf0-7a78-11ed-b...			57
2022-12-13 12:53:02	Sistema A...	3	Luminosidad	9d3c91d0-7a78-11ed-b...			101
2022-12-13 12:53:02	Sistema A...	1	Temperatura Del Ambiente	9ae2ea60-7a78-11ed-b...			30
2022-12-13 12:53:02	Sistema A...	0	Humedad Del Ambiente	99628bf0-7a78-11ed-b...			57
2022-12-13 12:53:02	Sistema A...	2	Humedad Del Suelo	9c4a90b0-7a78-11ed-b...			3119

Figura 3.6 Visualización de las Mediciones



Figura 3.7 Visualización de las Mediciones

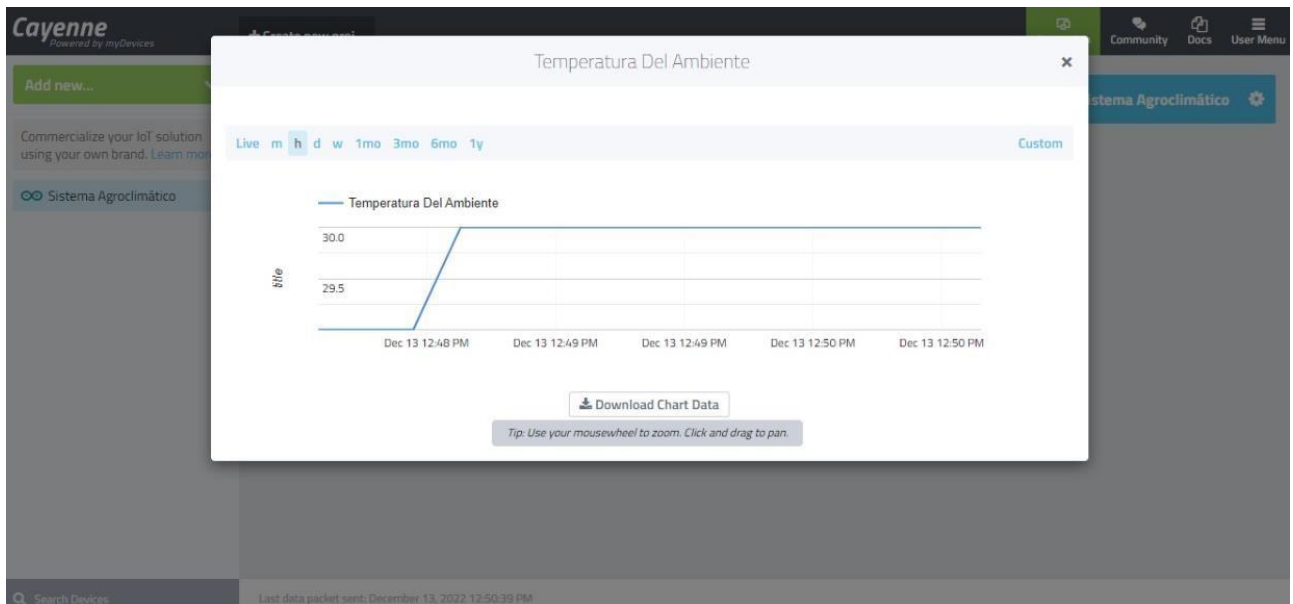


Figura 3.8 Visualización de las Mediciones

3.6 BLOQUE CONFIGURACIÓN DE LA ALERTA

Para poder empezar a configurar la alerta, es necesario conocer las condiciones en que se da una mayor incidencia en la proliferación de la moniliasis. Nos apoyaremos en un trabajo de investigación, donde encontramos los factores que favorecen el crecimiento de la moniliasis. La humedad relativa óptima para la germinación de las esporas es cercana al 100% tanto en el ambiente como en el suelo. Para el crecimiento vegetativo se requiere de una temperatura dentro del rango de 22°C a 30°C, pero para un crecimiento óptimo de las esporas se necesitan valores de temperatura entre 24 a 26

°C, estos serán los valores que determinen las altas tasas de infección de la moniliasis del cacao [14]. Por lo tanto, con estos valores en mente se realizará un esquema de como funcionaria el código previo al envío de la alerta de poda. Debido a que los cambios bruscos de valores de nuestras variables ambientales no son comunes, se define un tiempo de toma de datos de aproximadamente cinco minutos.

Un Webhook en la página web de IFTTT nos ayudará con la configuración de la alerta como observamos en la Figura 3.9. En el siguiente capítulo revisaremos cómo configurarla.

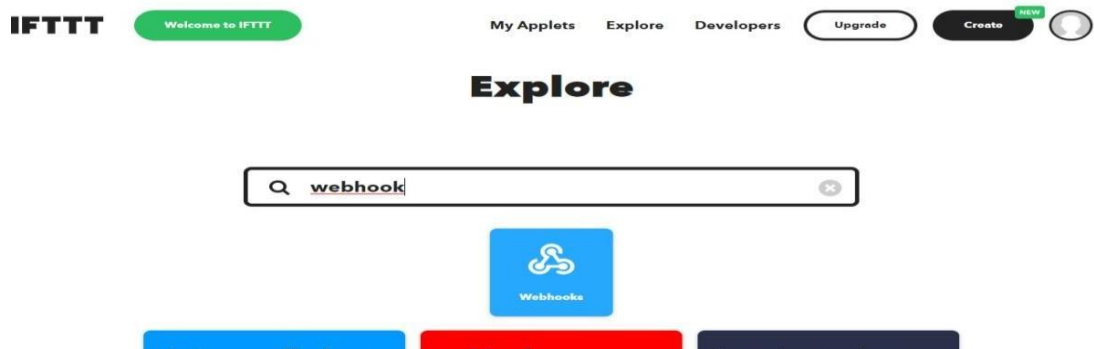


Figura 3.9 Sección de alertas en Cayenne

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se verán los resultados del dispositivo instalado en la plantación en Naranjito. Se realizaron previamente las implementaciones de los puntos de conexión eléctrica donde irá el extensor de señal y el dispositivo. Las mediciones realizadas serán enviadas a la nube, se podrán visualizar de forma remota para la recolección y análisis de los resultados. Se tomaron en cuenta los factores climatológicos de la zona, viento, polvo, presencia de animales, por lo que se instaló el dispositivo en una caja protectora, donde los sensores se encuentran ubicados de tal forma que tomen las medidas correctamente.

4.1 IMPLEMENTACIÓN

Parte de la implementación del proyecto, incluyó la instalación de los puntos de conexión eléctrica para el extensor de señal y el dispositivo. El cable que permitirá las conexiones estará conectado desde la casa del cliente. Recorrerá parte de la plantación hasta nueve metros aproximadamente, donde se conectará el extensor y otro cable que recorrerá nueve metros más, donde se conectará nuestro dispositivo. En la Figura 4.1 observamos las ubicaciones aproximadas para la implementación del proyecto.



Figura 4.1 Esquema de la implementación del dispositivo.

Para proteger de factores adversos, usamos tubos *Polyvinyl chloride* (PVC) que cubrirán el cable. En el primer punto de conexión eléctrica se utilizaron bloques y cemento para construir una especie de elevación de medidas 28 x 37 x 37 cm. En primerainstancia actuaba como una casa para proteger de la lluvia tanto el extensor como el conector eléctrico. Se determinó que resultaba mejor colocarlos a uno de los lados, justodonde se encuentre en línea de vista con la ubicación del dispositivo a nueve metros dedistancia, se ubicó un techo de zinc de medidas 70x70 cm.

Para la configuración del extensor, lo conectamos justo al lado del router de la casa del cliente y desde nuestra computadora nos conectamos a la red WiFi-Repeater. Luego se ingresó a la página web <http://repeater.com> donde iniciamos sesión, seleccionamos la sección Repeater Wizard. Se elige la red inalámbrica del cliente, dejamos el SSID tal como estaba, se selecciona aplicar para terminar la configuración. Es importante

recordar que la red estará trabajando en la frecuencia de 2.4 GHz y que el ESP-32 utiliza el protocolo 802.11 b/g/n (802.11n hasta 150 Mbps), con una frecuencia de 2.4 GHz por lo cual podrán trabajar. El extensor recibe la señal WiFi del cliente, ampliando la cobertura, mientras el ESP-32 que es el encargado de enviar las mediciones realizadas a la nube podrá conectarse sin ningún inconveniente. Para la instalación del dispositivo, primero colocamos el circuito dentro de la caja para su protección. El sensor DHT-22 lo ubicamos de tal forma que se encuentre en la intemperie, para que logre realizar las mediciones de temperatura y humedad del ambiente de forma correcta, sin que los resultados se vean comprometidos por la temperatura de dentro de la caja. Para evitar daños al dispositivo se instaló un tubo de metal en el centro, mismo que actuará como estaca para que quede fijo en la ubicación determinada. El sensor HD-38 tiene un cable y una sonda para poder obtener las mediciones, el cable se ubicará dentro del tubo de metal para protegerlo mientras que la sonda llegará al suelo y el sensor quedará totalmente dentro de la caja. Para el sensor LDR, la resistencia deberá estar fuera de la caja para tomar correctamente las mediciones de luminosidad. En la Figura 4.2 observamos el dispositivo ya instalado.



Figura 4.2 Dispositivo instalado y funcionando

4.2 CONFIGURACIÓN DE LA ALERTA

Como parte de la solución, se configura la alerta que llegará al teléfono del cliente como notificación. De esta forma, se optimizará el método tradicional conocido como poda, que realizan los productores diariamente durante ciertos períodos en el año. Generaremos un Webhook en la página de IFTTT para el desarrollo de la alerta, como se puede observar en la Figura 4.3

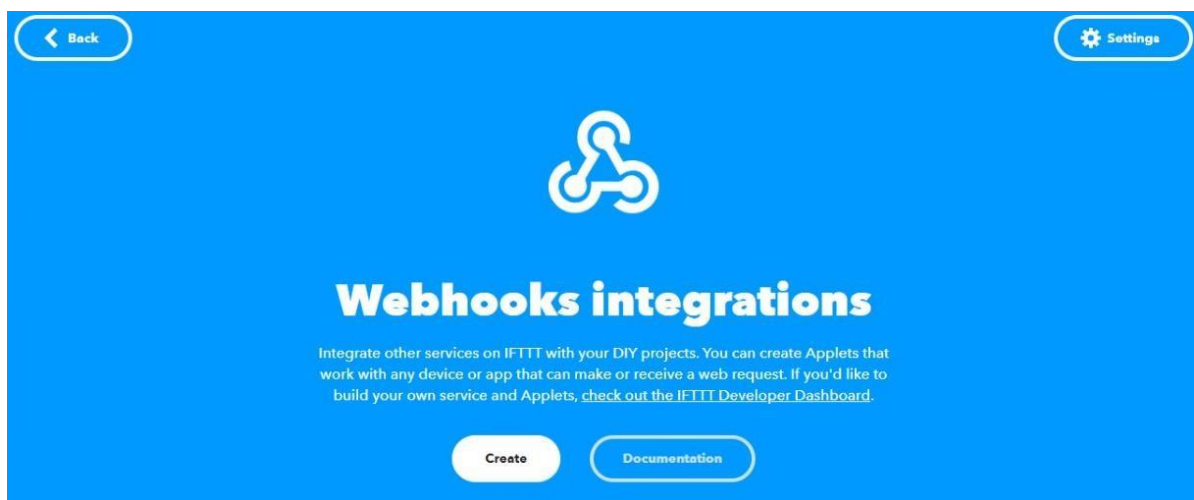


Figura 4.3 Webhooks integrations en IFTTT

Se selecciona 'Create' para generar la sociedad. Luego se abrirá una nueva página donde en la sección 'If This' que se observa en la Figura 4.4 se ingresará el condicional para que se efectúe la alerta. El condicional es el relacionado con un rango de valores de los parámetros que mide el dispositivo. En la Figura 4.5 se encuentra el apartado donde seleccionamos *suggest a new trigger*.

You're using 0 of 2 Applets

If This Add

Then That

Figura 4.4 Sección Create del Webhook

Webhooks

Receive a web request with a JSON payload

This trigger fires every time the Maker service receives a web request to notify it of an event. For information on triggering events, go to your Maker service settings and then the listed URL (web) or tap your username (mobile)

Receive a web request

This trigger fires every time the Maker service receives a web request to notify it of an event. For information on triggering events, go to your Maker service settings and then the listed URL (web) or tap your username (mobile)

Choose trigger: Receive a web request

+ Suggest a new trigger

Figura 4.5 Opción para recibir solicitud web

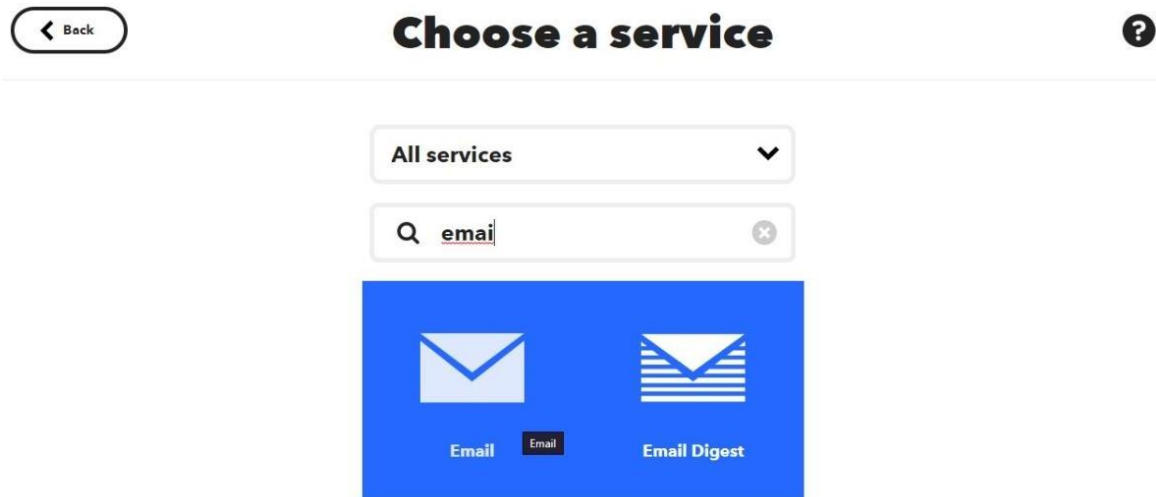


Figura 4.6 Selección método de envío de la alerta

Luego, procedemos a elegir el apartado *Then*, donde procederemos a escoger mediante qué vía nos llegará la alerta al cumplirse las condiciones, para el proyecto elegimos mediante email como se observa en la Figura 4.6. El correo asociado a la alerta se dejará configurado en el celular del cliente. No será necesario ingresar a la aplicación de Gmail, puesto que, al momento de que se emita la alerta, aparecerá una notificación en el celular.

4.3 PRUEBAS

Se realizaron pruebas de conectividad de forma preliminar y en el lugar de implementación para verificar el nivel de señal, la eficiencia y el alcance, de forma que no existan inconvenientes. Se comprobó el funcionamiento del dispositivo y del extensor de señal, con las condiciones climáticas de la zona.

PRUEBAS PRELIMINARES

La primera prueba realizada fue para determinar el retraso (*delay*), con una distancia aproximadamente de 15 metros entre el punto de acceso a internet y el dispositivo. La prueba se realizó en una casa con paredes de cemento, entre el dispositivo y el punto de acceso había un total de dos paredes de cemento y un mesón

de cerámica. Con la ayuda de un cronómetro se procedió a tomar el tiempo que tardaba en llegar el primer dato a la nube desde que se conectase el dispositivo a la red eléctrica del hogar. El resultado del tiempo que toma en llegar el primer dato fue de aproximadamente 26 segundos. Al final se procedió a verificar el tiempo que tardaban en llegar los datos después del primer envío y mediante la plataforma Cayenne se observó que llegaban cada 5 minutos con 2 segundos, para esto se tomó como referencia el envío de 100 datos.

PRUEBAS FINALES

Para las pruebas finales se procedió a colocar el dispositivo en el centro de la plantación de cacao en naranjito, al principio todo funcionó de manera correcta y tal como se evidenció en las pruebas preliminares. Pero después de que el dispositivo se sometió a la primera lluvia, comenzó a presentar problemas en el sensor DHT22.

Teniendo en cuenta las condiciones y observaciones se optó por implementar un techo protector, el cual es traslúcido, también implementar una protección adicional en la ubicación del sensor DHT22, con lo cual se pudo evitar el ingreso del agua de lluvia. Al final se siguió observando la toma de datos del dispositivo mediante la plataforma Cayenne y se evidenció que todo funcionaba dentro de los parámetros esperados.

De acuerdo con las pruebas finales, se determinó que el dispositivo trabajaba de forma correcta, tomando y enviando las mediciones. Cada uno de sus sensores trabajaban dentro de los rangos de temperatura permitidos, con el voltaje y corriente de operación. Podemos observar en la Figura 4.2 las mediciones obtenidas con el dispositivo instalado y funcionando, los datos los estamos visualizando desde el celular. En la Tabla 4.1 tenemos la ficha técnica del dispositivo, con los valores de los parámetros que requiere para trabajar adecuadamente, para lo cual analizamos la temperatura del sitio, además encontrar en documentación los valores como la temperatura promedio de la zona que, durante el transcurso del año, la temperatura varía de 22°C a 31°C y rara vez baja a menos de 20 °C o sube más de 33°C [14], por lo que cumplimos con los requerimientos del Sistema.

Tabla 4.1 Ficha técnica del dispositivo instalado.

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de Operación DC	5 [V]
Corriente de Operación	1.2 [A]
Intervalo mediciones para Temperatura	De -40°C a 80°C
Sensibilidad para Temperatura	Aproximadamente ± 0.4 °C
Intervalo medición para Humedad	De 0 a 100%
Sensibilidad para Humedad	Aproximadamente 2%
Rango medición de Luminosidad	Desde 0 hasta 100% Luminosidad
Temperatura de Operación	-15°C a 40°C
Tiempo de toma de mediciones	5 [s]
Visualización de Mediciones	Página de Cayenne
WiFi	802.11b/g/n, 2.4[GHz]
Dimensiones	155x110x74 [mm]
Peso	325 [gr]
Delay	2 [s]

4.4 RESULTADOS

MEDICIONES TEMPERATURA DEL AMBIENTE

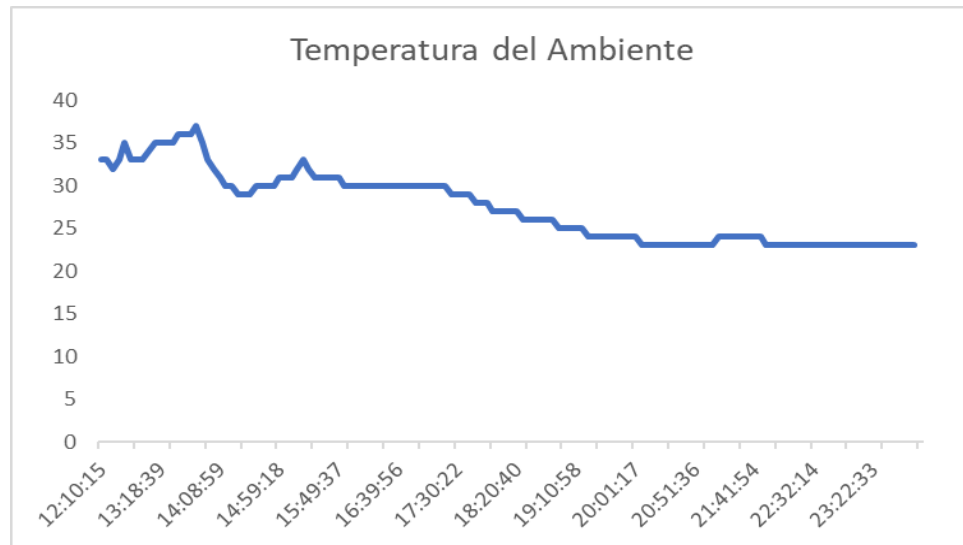


Figura 4.8 Temperatura del ambiente 15 de enero.

Podemos observar en la Figura 4.8 la temperatura del ambiente durante el día 15 de enero. Tenemos como máxima temperatura 37°C pasado el mediodía y como mínima 24 °C en horas de la madrugada. La temperatura va variando durante el día dentro de este rango. Se puede verificar que son temperaturas típicas del sector donde se realizan las mediciones. Tomando en cuenta solo este parámetro, se toma en consideración que, en altas horas de la noche, se cumple la condición para la proliferación de la Moniliasis. Gracias a la base de datos en Cayenne, se pueden analizar todos los días desde el momento de instalación del dispositivo. Exceptuando condiciones como lluvia, los valores de temperatura son muy parecidos de día a día.

MEDICIONES HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE

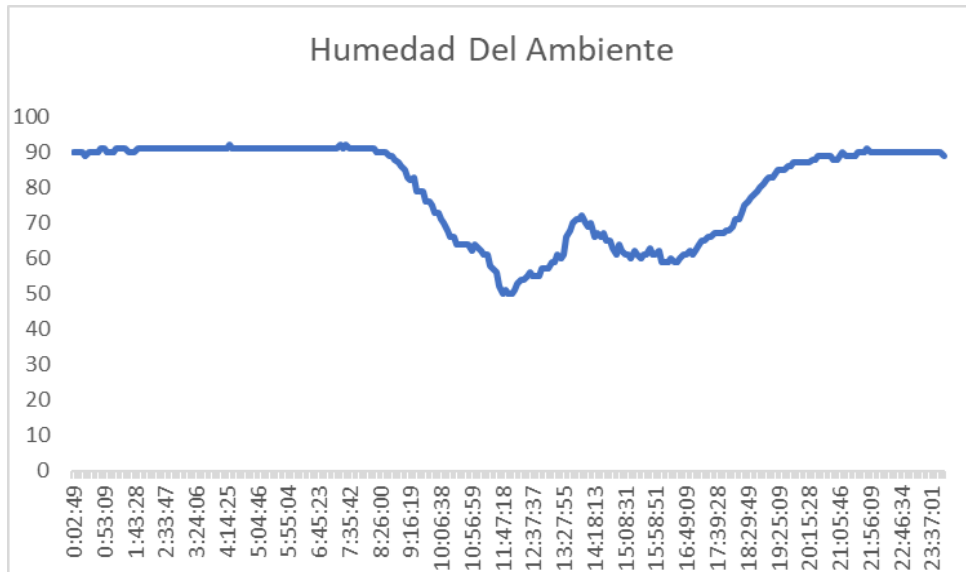


Figura 4.9 Humedad del ambiente 15 de enero.

Podemos observar en la Figura 4.9 la humedad relativa del ambiente durante el día 15 de enero. Tenemos como máximo valor 90% en horas de la madrugada y temprano en la mañana, y como mínima 50% cerca del mediodía. La humedad va variando durante el día dentro de este rango. Se puede verificar que son valores de humedad típicos del sector donde se realizan las mediciones. Tomando en cuenta solo este parámetro, se toma en consideración que, en altas horas de la madrugada, se cumple la condición para la proliferación de la Moniliasis.

MEDICIONES HUMEDAD DEL SUELO

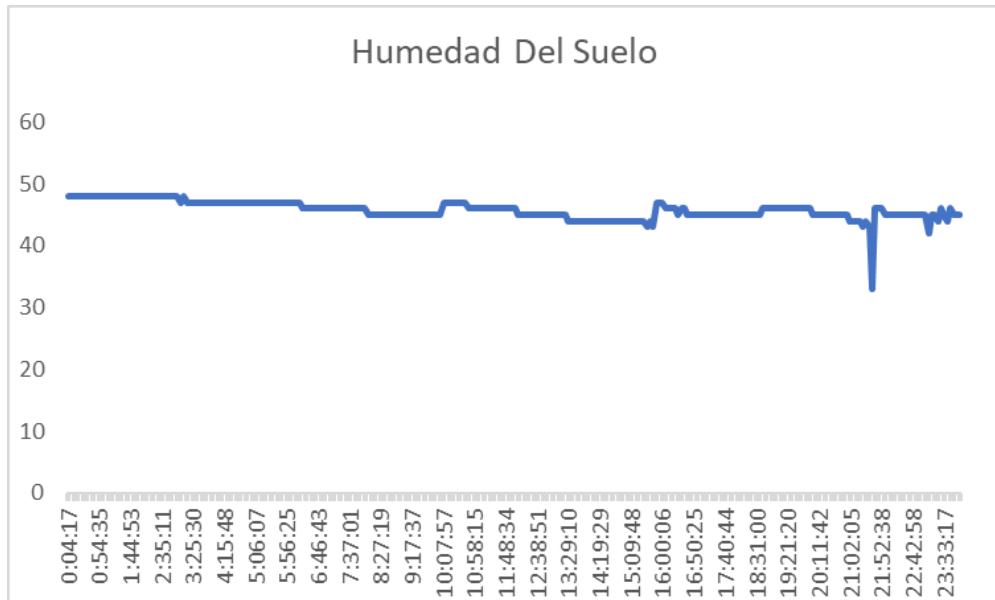


Figura 4.10 Humedad del suelo 15 de enero.

Podemos observar en la Figura 4.10 la humedad del suelo durante el día 15 de enero. Tenemos como máximo valor de humedad 49% manteniéndose case constante durante todo el día y como mínimo 30% en horas de la madrugada. Tomando en cuenta solo este parámetro, se toma en consideración que, no se llega al porcentaje de humedad donde se cumplan con las condiciones para la alerta.

MEDICIONES LUMINOSIDAD



Figura 4.11 Luminosidad 15 de enero.

Podemos observar en la Figura 4.11 la luminosidad de la zona durante el día 15 de enero. Tenemos como máximo valor un 99% que se mantiene prácticamente constante durante el día, y como mínimo valor un 0% que se mantiene constante durante la noche. Se puede concluir que, aunque no es un factor directamente relacionado con la proliferación, si afecta a otros factores que sí lo son.

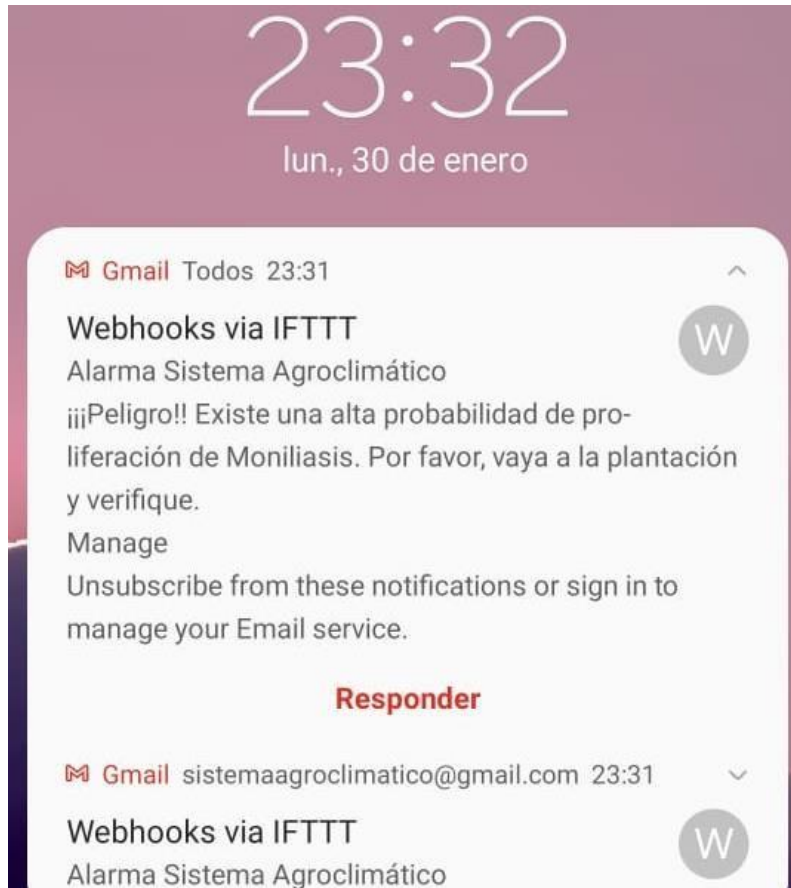


Figura 4.12 Notificación de la alerta.

En la Figura 4.12 tenemos la notificación de la alerta capturada desde el celular. Luego de que las condiciones se cumplieran, se emitió la alerta con el mensaje de verificar la plantación, para que el productor realice la poda de mazorcas infectadas. La primera alerta se emitió el Lunes 30 de enero.



Figura 4.13 Nivel de Incidencia de la Moniliasis.

Luego de emitirse la alerta, se procede a realizar una comparación como se observa en la Figura 4.13. Podemos observar que el nivel de incidencia es del 1% en la primera visita. Esto se debe a que el productor realizaba diariamente la poda de mazorcas infectadas. Para poder realizar una comparativa en el nivel de incidencia de la enfermedad, se solicitó al cliente no realizar el método de poda, por eso observamos un nivel alto de caso 8% para la cuarta visita. La instalación del dispositivo se realizó en la séptima visita, el 29 de diciembre. La emisión de la primera alerta se da el lunes 30 de enero, momento en el cual el cliente realiza la poda ese día, luego de cuatro días nuevamente inspecciona toda la plantación. De esta forma se ha logrado optimizar el método tradicional de poda de mazorcas, podemos observar la disminución del nivel de incidencia. Luego de mejorar el código de la alerta tenemos una mayor reducción del nivel de incidencia a un 2% para la décima visita.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de la instalación del dispositivo y de analizar los resultados de las mediciones y la alerta, se llegaron a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

CONCLUSIONES

- Se validó el dispositivo diseñado en la plantación de Cacao en Naranjito, a través de pruebas de conectividad, tomando en cuenta la presencia de árboles y un ambiente rural. Demostrando un envío de mediciones a la nube y visualización en el *dashboard* Cayenne sin novedades. Tal como se puede apreciar en el Capítulo 4 en la sección Resultados.
- Se configuró la alerta de acuerdo con las condiciones que propician la proliferación de la Moniliasis del Cacao descritas en el Capítulo 3 sección Configuración de la Alerta. De esta manera se logró optimizar el método tradicional realizado por los productores conocido como poda, representando un ahorro de tiempo y dinero.
- En el lugar donde se instaló el dispositivo, las mediciones realizadas no presentaron variaciones apreciables para un terreno aproximado de 1500 metros. Siendo el área delimitada para el desarrollo del Proyecto.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable implementar más dispositivos si se desea cubrir un área mayor a 1500 metros cuadrados, para mayor precisión en los resultados.
- Se recomienda guardar las mediciones periódicamente para tener un respaldo a parte de la base de datos del Cayenne.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] EMR. (2022, Noviembre 20). Perspectiva del mercado de cacao en América Latina [Online]. Disponible en: <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-cacao#:~:text=Perspectiva%20del%20Mercado%20de%20Cacao%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina,demanda%20del%20producto%20en%20la%20industria%20del%20chocolate>
- [2] El Comercio. (2022, Febrero 11). Ecuador: El cacao rompió un record en el 2021 [Online]. Disponible en: <https://elproductor.com/2022/02/el-cacao-rompio-un-record-en-el-2021/#>
- [3] Croplifela Latin America (2016, Octubre 14). Moniliasis del Cacao [Online]. Disponible en: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/moniliasis-del-cacao>
- [4] Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (2021, Julio 21). Ecuador es el primer exportador en grano de América [Online]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-es-el-primer-exportador-de-cacao-en-grano-de-america/>
- [5] Adm_Serfi (2021, Agosto, 2). ¿Cómo controlar la moniliasis en el cultivo del cacao? [Online]. Disponible en: <https://serfi.biz/blog-como-controlar-la-moniliasis-en-el-cultivo-de-cacao#:~:text=Una%20de%20las%20principales%20enfermedades%20que%20suele%20atacar,un%2080%25%20de%20p%C3%A9rdidas%20de%20la%20cosecha%20anual>
- [6] EcuRed (2015, Septiembre 6). Moniliasis del Cacao [Online]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Moniliasis_del_cacao
- [7] Phillips-Mora, Wilbert. Origin, Biogeography, Genetic Diversity and Taxonomic Affinities of the Cacao Fungus *Moniliophthora roreri* as determined using Molecular, Phytopathological and Morpho-Physiological Evidence (en inglés). Reading, UK: The University of Reading, 2003
- [8] Components 101 (2018, Abril 19). DHT-22 Temperature and Humidity Sensor [Online]. Disponible en: <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet>

[9] Mactronica (2023, Enero 8). Sensor de Humedad del Suelo HD-38 [Online]. Disponible en: <https://www.mactronica.com.co/sensor-de-humedad-del-suelo-hd-38>

[10] Mactronica (2023, Enero 4). Módulo Sensor de Luz Fotorresistencia [Online]. Disponible en: <https://www.mactronica.com.co/modulo-sensor-de-luz-fotorresistencia>

[11] Dogan Ibrahim, SD Card Projects Using the PIC Microcontroller, 2010

[12] ESPRESSIF (2019, Agosto 2). ESP-32 Series of Modules [Online]. Disponible en: <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp32>

[13] Paul Nganga (2021, Septiembre 30). 802.11 Wireless Standards Explained [Online]. Disponible en: <https://community.fs.com/blog/802-11-standards-explained.html>

[14] E. E. Estrella y J. G. Cedeño, “Medidas de control de bajo impacto ambiental para mitigar la moniliasis en cacao híbrido nacional x trinitario en Santo Domingo de los Tsáchilas,” Tesis de grado, Dept. Ciencias de la Vida, Univ. Politécnica del Ejército, Santo Domingo, EC, 2012.

APÉNDICES

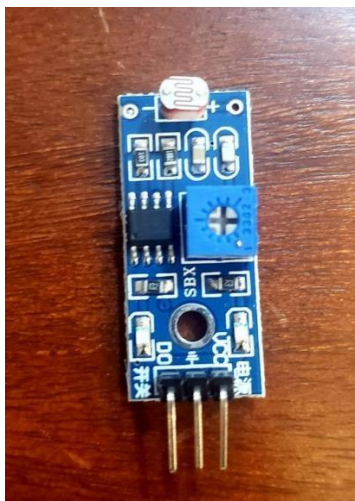
APÉNDICE A: COMPONENTES DEL DISPOSITIVO



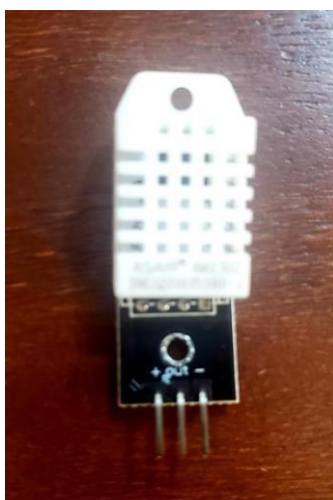
Apéndice 1 Módulo ESP-32.



Apéndice 2 Sensor de Humedad del Suelo HD-38.



Apéndice 3 Sensor de Luminosidad LDR.



Apéndice 4 Sensor de Temperatura y Humedad del Ambiente DHT-22.

APÉNDICE B: CÓDIGO DEL SISTEMA AGROCLIMÁTICO

```
//Codigo Realizado por: Henry Altamirano Calle y Andres Toro
Chalen#include <Arduino.h>
#include <Ticker.h> // Libreria para el
Watchdog#include <WiFi.h> // Librerias WiFi
#include <WiFiMulti.h>
#include <HTTPClient.h> //Libreria para solicitud
HTTP#define CAYENNE_PRINT Serial
#include <CayenneMQTTESP32.h> // importa libreria de Cayenne MQTT para el
ESP32#include <DHT.h> // importa la Librerias DHT
#include <DHT_U.h>
#define DHTPIN 25 // Pin al que esta conectado el DHT22
#define DHTTYPE DHT22 // Tipo de sensor DHT
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

Ticker watchdog;

WiFiMulti wifiMulti;

bool dataSent = false;

char ssid[] = "MEGACOM-VERA-ext"; // Nombre de la
redchar WifiPassword[] = "12345678"; // Clave del WiFi

char username[] = "2f0681e0-7a63-11ed-8d53-d7cd1025126a"; // Nombre de usuario en Cayenne
char password[] = "980db4f448da402e68a184ed4f6ed4d3c03e8b6d"; //Contraseña de usuario en
Cayenne
char clientID[] = "5f124fe0-7a63-11ed-b193-d9789b2af62b"; //Identificacion en Cayenne

String Url_IFTT =
"https://maker.ifttt.com/trigger/alarma_sistema_agroclimatico/json/with/key/mJgoDKREhmyzPVEEWQ_Tt
yc8gGpOb9apTOUN9EXKQhe"; // Solucitud Webhook
```



```

Cayenne.begin(username, password, clientID, ssid, WifiPassword);
dht.begin(); // inicializacion de sensor
watchdog.attach(300, watchdogFunction);
}
void loop(){
Cayenne.loop();
int LDR_pin = 33; // Se leera el pin analogico-digital 33
int LDR_var = 0; // Variable para leer los datos del LDR
int SensorPin = 32; // Se leera el pin analogico-digital
32int TEMPERATURA;
int HUMEDAD;
TEMPERATURA = dht.readTemperature(); // obtencion de valor de
temperaturaHUMEDAD = dht.readHumidity(); // obtencion de valor de
humedad Serial.print("Temperatura Ambiente = ");
Serial.print(TEMPERATURA);
Serial.println("°C ");
Serial.print("Humedad Ambiente =
");Serial.print(HUMEDAD);
Serial.println("% ");
// Valores obtenidos del pin al cual esta conectado el fotoresistor y el sensor de humedad del suelo
int humedad = analogRead(SensorPin);
humedad = map(humedad, 4095, 0, 0, 100); //Mapeo de los valores para que los arroje entre 0 y 100
LDR_var = analogRead(LDR_pin);
LDR_var = map(LDR_var, 4095, 0, 0, 100); //Mapeo de los valores para que los arroje entre 0 y 100
//Imprimir valores
Serial.print("Luminosidad =
");Serial.print(LDR_var);
Serial.println("% ");
Serial.print(" Humedad Suelo =
");Serial.print(humedad);
Serial.println("% ");

```

Apéndice 5 Código del Sistema Agroclimático.