



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

“DESARROLLO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA EN LA ESPOCH SEDE ORELLANA PARA GENERAR UNA ALERTA TEMPRANA FITOSANITARIA DE LA PLAGA “MONILLA” EN PLANTACIONES DE CACAO”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

ANTHONY FABIÁN CEVALLOS MEDINA

CARLOS EFRAÍN GRANIZO VERA

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

“DESARROLLO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA EN LA ESPOCH SEDE ORELLANA PARA GENERAR UNA ALERTA TEMPRANA FITOSANITARIA DE LA PLAGA “MONILLA” EN PLANTACIONES DE CACAO”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: ANTHONY FABIÁN CEVALLOS MEDINA

CARLOS EFRAÍN GRANIZO VERA

DIRECTOR: Ing. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Anthony Fabián Cevallos Medina & Carlos Efraín Granizo Vera

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, CARLOS EFRAÍN GRANIZO VERA y ANTHONY FABIÁN CEVALLOS MEDINA declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de septiembre del 2021



Carlos Efraín Granizo Vera
0604185363



Anthony Fabián Cevallos Medina
0604179770

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: proyecto técnico, **DESARROLLO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA EN LA ESPOCH SEDE ORELLANA PARA GENERAR UNA ALERTA TEMPRANA FITOSANITARIA DE LA PLAGA “MONILLA” EN PLANTACIONES DE CACAO**, realizado por los señores: **ANTHONY FABIÁN CEVALLOS MEDINA** y **CARLOS EFRAÍN GRANIZO VERA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> MIGUEL TASAMBAY	
Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego Mgs. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO	07/02/2022
Ing. José Luís Tinajero León Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> JOSE LUIS TINAJERO	07/02/2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación con todo mi corazón y ser a mi familia, pues sin ellos no lo hubiera logrado. A mi madre, María Luisa, que con su bendición diaria a lo largo de este camino me protege y me lleva por el camino de bien. A mi padre, Efraín, quien a través del tiempo me inculca el ejemplo de disciplina y firmeza para lograr toda meta que me proponga. A mi abuelita, Luz, por su amor absoluto y consejos para fundar mi vida. A mis hermanas, Carla y Gina, cuyo objetivo es el cuidar de mí y velar por mi felicidad. A mis sobrinos, Nicolás, Valentina, Martín y María Paz, por ser el escape de lo cotidiano y regalarme una sonrisa de niño. A esa persona especial, Emilia, por su presencia implícitamente fundamental en esta travesía y por su amor. A mi cuñado, Jonathan, por sus consejos de hermano mayor. A mis demás familiares, amigos y personas cercanas que de una u otra manera contribuyeron en mi formación académica y personal.

Carlos

Dedico este trabajo de titulación con Amor y alegría a Dios por darme la fuerza y la entereza para poder culminar cada etapa de mi vida, a mi madre Lolita por Nunca dejarme solo y ser mi motor de vida quien siempre tendrá las palabras correctas llenas de amor para guiarme, a mi padre Fabián por ser quien me enseñó que el trabajo Duro y Responsable te puede llevar a donde sea, a mis hermanos Stefania y Jairo por ser mis cómplices de alegrías y locuras pero siempre ayudándome a ser mejor persona, a mi tía Norma por ser segunda madre siempre dándome su amor, a mi sobrino Matheo por esa chispa de felicidad en mi vida. A mis demás familiares, amigos y personas Especiales que me cuidan desde el cielo los que me han ayudado con un granito de Arena en esta etapa de mi vida.

Anthony

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios y a nuestras familias por guiarnos y darnos la fuerza necesaria para afrontar cualquier dificultad a lo largo de esta etapa. Al grupo de investigación PATFA que tiene por máxima autoridad el Ing. Paúl Paguay, nos han proporcionaron todo su apoyo y recursos para el desarrollo del trabajo de titulación. Al INIAP, por medio del Ing. Jimmy Pico, han sabido recibirnos de la mejor manera en sus instalaciones para poder implementar los equipos que forman parte de este trabajo. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial al Ing. Jorge Luis Paucar por ser más que un profesor, un amigo, quien nos ha guiado y ayudado dándonos los lineamientos correctos para el desarrollo del proyecto y ser parte indispensable en nuestra formación profesional.

Anthony & Carlos

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	iviii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1.	Antecedentes.....	3
1.2.	Justificación teórica.....	5
1.3.	Justificación práctica.....	7
1.4.	Alcance del proyecto.....	7
1.5.	Delimitación Geográfica.....	8
1.6.	Delimitación Temporal.....	9
1.7.	Delimitación Sectorial.....	10
1.8.	Delimitación Institucional.....	11
1.9.	Planteamiento del problema.....	11
1.10.	Sistematización del problema.....	12
1.11.	Objetivos.....	12
1.11.1	<i>Objetivo General</i>	12
1.11.2	<i>Objetivos Específicos</i>	12

CAPÍTULO II

2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	14
2.1	Cacao en Ecuador.....	14
2.2	Producción de cacao en Ecuador.....	14
2.3	Enfermedades del cacao.....	15
2.3.1	<i>Escoba de Bruja</i>	16
2.3.2	<i>Mazorca Negra</i>	16
2.3.3	<i>Monilla</i>	17
2.4	Alarmas Fitosanitarias.....	18

2.5	Meteorología	19
2.6	Variables Atmosféricas	19
2.6.1	<i>Presión</i>	19
2.6.2	<i>Temperatura</i>	20
2.6.3	<i>Humedad Relativa</i>	21
2.6.4	<i>Precipitación</i>	22
2.6.5	<i>Radiación Solar</i>	22
2.6.6	<i>Velocidad y Dirección del Viento</i>	23
2.7	Estación Meteorológica	24
2.7.1	<i>Estaciones Meteorológicas Automáticas</i>	25
2.7.2	<i>Estaciones Meteorológicas en Ecuador</i>	25
2.8	Instrumentos de Medición	26
2.9	Estándares de Medición	27
2.10	Sistema de Adquisición de Datos.....	28
2.11	Sistema de Procesamiento de Datos	29
2.12	Sistema de Almacenamiento de Datos.....	30
2.13	Sistema de Visualización de Datos	31
2.14	Sistema de Alimentación del Sistema.....	32
2.15	Herramientas de desarrollo computacional	33
2.15.1	<i>Software MATLAB</i>	33
2.15.2	<i>Software PYTHON</i>	34
2.15.3	<i>Fuzzy Logic</i>	34
2.15.4	<i>Software MAWS Lizard</i>	35
2.15.5	<i>Software AWS Client</i>	36

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	38
3.1	Planificación de la Construcción	38
3.1.1	<i>Estación Meteorológica</i>	38
3.1.2	<i>Circuitos</i>	39
3.1.3	<i>Conectores y Rieles</i>	41
3.1.4	<i>Alerta Temprana Fitosanitaria</i>	43
3.2	Elementos Utilizados	43
3.2.1	<i>Raspberry Pi 4</i>	43
3.2.2	<i>Registrador de Datos VAISALA QML 201C</i>	44

3.2.3	<i>Sistema de Alimentación de Energía</i>	46
3.2.4	<i>Sensores</i>	49
3.3	Envío de Datos	59
3.4	Protocolo de Comunicación	60
3.5	Subida de datos a la nube	63
3.6	Base de Datos	63
3.7	Visualización de Datos	65
3.8	Diseño del Algoritmo	68
3.8.1	<i>Definición de los parámetros de la plaga</i>	68
3.8.2	<i>Desarrollo del Algoritmo</i>	69
3.8.3	<i>Implementación del Algoritmo</i>	71
3.9	Elaboración de la Alarma Temprana Fitosanitaria	73

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS	76
4.1	Análisis e Interpretación de Resultados	76
4.1.1	<i>Condiciones ideales para el desarrollo de la plaga “monilla” en el cacao</i>	76
4.1.2	<i>Diseño establecido de la Estación Meteorológica</i>	80
4.1.3	<i>Diseño del algoritmo que determinó el crecimiento de la plaga</i>	82
4.1.4	<i>Sistema de comunicación para el envío de información que influyen en crecimiento de la plaga</i>	84
4.1.5	<i>Validación del sistema de recolección de datos</i>	86
4.1.6	<i>Análisis de errores en la medición de los datos recolectados</i>	87

	CONCLUSIONES	97
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	98
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Datos geográficos del INIAP donde se instalará la estación meteorológica.	9
Tabla 2-1:	Distribución temporal del desarrollo de actividades del trabajo de titulación. ..	10
Tabla 1-2:	Unidades de medidas de los sensores empleados.	27
Tabla 1-3:	Características técnicas del panel solar.	48
Tabla 2-3:	Características técnicas del sensor de lluvia TR525 W2.	50
Tabla 3-3:	Características técnicas del sensor barométrico R2850152.	51
Tabla 4-3:	Características técnicas del sensor de radiación solar CMP3.	52
Tabla 5-3:	Características técnicas del sensor de temperatura del suelo tdr-315h.	54
Tabla 6-3:	Características técnicas del sensor de presión barométrica p4230056.	55
Tabla 7-3:	Características técnicas del sensor anemómetro ultrasonido 86000 SDI.	57
Tabla 8-3:	Características de humedad relativa del sensor hmp 155.	58
Tabla 9-3:	Características de temperatura del sensor hmp 155.	58
Tabla 10-3:	Tipos de cadenas en los que se almacena los datos recolectados.	61
Tabla 11-3:	Nombres de las señales que ingresan en el <i>software</i> maws lizard.	67
Tabla 12-3:	Variables calculadas e ingresadas a la tabla de la interfaz 2.	67
Tabla 13-3:	Crecimiento de la plaga con temperatura y humedad relativa.	69
Tabla 14-3:	Parámetros de salida del algoritmo en lógica difusa.	71
Tabla 15-3:	Definición de las variables lingüísticas de cada función.	72
Tabla 16-3:	Favorabilidad del crecimiento de la plaga en base a las variables climatológicas.	74
Tabla 1-4:	Favorabilidad de crecimiento de la plaga en base a la temperatura.	77
Tabla 2-4:	Incidencia de la humedad relativa para la presencia de la plaga.	778
Tabla 3-4:	Rangos de presencia de la plaga en base a los niveles de precipitación.	79
Tabla 4-4:	Rangos de la alarma fitosanitaria en base al algoritmo desarrollado.	83
Tabla 5-4:	Variables estadísticas de la temperatura promedio.	90
Tabla 6-4:	Variables estadísticas de la precipitación.	92
Tabla 7-4:	Variables estadísticas de la humedad.	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Ubicación donde se instalará la estación meteorológica.	9
Figura 2-1:	Instalaciones del INIAP en orellana.	11
Figura 1-2:	Parcelas de cacao pertenecientes a INIAP.	14
Figura 2-2:	Provincias con mayor incidencia de sembríos de cacao.	15
Figura 3-2:	Ejemplares con la enfermedad de “mazorca negra” en Ecuador.	17
Figura 4-2:	Plaga “monilla” en el fruto y cultivos de laboratorio.	18
Figura 5-2:	Experimento para medir la presión atmosférica por Torricelli.	20
Figura 6-2:	Temperatura en la atmósfera representada en una estructura vertical.	21
Figura 7-2:	Humedad específica de aire respecto a la temperatura.	22
Figura 8-2:	Tipos de radiaciones: directa, difusa y reflejada.	23
Figura 9-2:	Sensor inteligente para medir la velocidad del viento.	23
Figura 10-2:	Red conceptual de una estación meteorológica.	24
Figura 11-2:	Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicos.	26
Figura 12-2:	Instrumentos de medición analógicos y digitales.	27
Figura 13-2:	Esquema básico de un sistema de adquisición de datos.	28
Figura 14-2:	Tarjetas de programación más comunes.	30
Figura 15-2:	Varios sistemas de almacenamientos de datos primarios y secundarios.	31
Figura 16-2:	Ejemplo de sistema de visualización de datos.	32
Figura 17-2:	Paneles solares como fuente de energía en estaciones meteorológicas.	32
Figura 18-2:	Software matlab versión R2017B.	33
Figura 19-2:	Entorno de programación python.	34
Figura 20-2:	Fuzzy logic toolbox comando de MATLAB.	35
Figura 21-2:	Modificación de las entradas de los sensores en el <i>software</i> MAWS Lizard. ..	36
Figura 22-2:	Entorno de visualización de datos AWS Client.	37
Figura 1-3:	Diagrama de puertos de conexión del <i>datalogger</i> QML-201C.	39
Figura 2-3:	<i>Datalogger</i> con conexiones de los sensores.	41
Figura 3-3:	Riel, canaleta y amarras usadas en la instalación.	42
Figura 4-3:	Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4.	44
Figura 5-3:	Registrador de Datos VAISALA QML 201C.	46
Figura 6-3:	Batería solar ritar.	47
Figura 7-3:	Regulador de voltaje phocos CMLUP20.	48
Figura 8-3:	Panel solar zimpertec.	49
Figura 9-3:	Sensor de lluvia TDR 525.	50
Figura 10-3:	Sensor de presión barométrica R2850152.	51
Figura 11-3:	Sensor de radiación solar CMP3.	52

Figura 12-3:	Sensor de temperatura del suelo TDR-315H.	54
Figura 13-3:	Sensor de presión barométrica R2850152.	56
Figura 14-3:	Sensor de ultrasonido young 86000 SDI.	57
Figura 15-3:	Sensor de temperatura con campana HMP155.	59
Figura 16-3:	Lectura de datos en el <i>software</i> aws client.	59
Figura 17-3:	Diagrama de flujo del bloque de programación para la comunicación.	62
Figura 18-3:	Base de datos donde se ingresa los datos de los usuarios.	64
Figura 19-3:	Base de datos donde se ingresa la cadena información recolectado por EMA. .	65
Figura 20-3:	Interfaz 1. Ingreso para seleccionar los días de consulta de datos ingresados. .	66
Figura 21-3:	Interfaz 2. Información recolectada por los sensores.	66
Figura 22-3:	Algoritmo implementado mediante fuzzylogic toolbox en MATLAB.	70
Figura 23-3:	Editor de reglas para la lógica difusa en MATLAB.	71
Figura 24-3:	Algoritmo transcrito a Python en base a los datos definidos en MATLAB.	73
Figura 1-4:	Módulo barométrico integrado en el <i>datalogger</i>	82
Figura 2-4:	Cable de conexión USB a RS-232.	84
Figura 3-4:	Base de datos “sensores” con cadenas de información recolectadas. (pruebas).	85
Figura 4-4:	<i>Mail</i> correspondiente a la alarma fitosanitaria con valores.	87
Figura 5-4:	Datos ingresados al algoritmo en base a lógica difusa.	87
Figura 6-4:	Hoja de datos de la estación meteorológica HOBO RX3000	879

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Descripción del manejo integrado de plagas con uso de métodos de control.	3
Gráfico 1-4:	Rangos de temperatura donde se desarrolla la plaga <i>monilophthora roreri</i>	78
Gráfico 2-4:	Porcentaje de humedad donde se desarrolla la plaga <i>monilophthora roreri</i>	79
Gráfico 3-4:	Intervalos de lluvia que describen el crecimiento de la plaga <i>monilophthora roreri</i>	80
Gráfico 4-4:	Gráfica de la temperatura de diciembre 2021.....	92
Gráfico 5-4:	Gráfica de la temperatura de Enero 2022.	92
Gráfico 6-4:	Gráfica de la precipitación de Diciembre 2021.	94
Gráfico 7-4:	Gráfica de la precipitación de Enero 2022.	95
Gráfico 8-4:	Gráfica de la humedad de Diciembre 2021.	97
Gráfico 9-4:	Gráfica de la humedad de Enero 2022.	97
Gráfico 10-4:	Climograma del mes de Diciembre del 2021.	98
Gráfico 11-4:	Climograma del mes de Enero del 2022.	99

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
- ANEXO B:** CÓDIGO DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN
- ANEXO C:** CÓDIGO HTML E INTERFACES GRÁFICAS
- ANEXO D:** DISEÑO DEL ALGORITMO
- ANEXO E:** CÓDIGO PHP Y MAIL CON LA ALARMA FITOSANITARIA
- ANEXO F:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA
- ANEXO G:** IMPLEMENTACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS SENSORES
- ANEXO H:** COMPARACIÓN DE DATOS
- ANEXO I:** CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

ABREVIATURAS

ADC	Analog to Digital Converter
AMSF	Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias
AWS	Automatic Weather Station
CPU	Central Processing Unit
EMA	Estación Meteorológica Automática
GND	Ground
GPS	Global Positioning System
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
JSON	JavaScript Object Notation
LAMP	Linux Apache MySQL PHP
MAG	Ministerio de Agricultura
METMAN10	Herramienta de recopilación y gestión de datos meteorológicos
MIP	Manejo Integrado de Plagas
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PATFA	Proyecto de alertas Tempranas Fitosanitarias Agrícolas
PHP	Hypertext Preprocessor
RAM	Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
RS-232	Recommended Standard 232
TDR	Tiempo de reflectometría de dominio
USB	Universal Serial Bus

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo de titulación es desarrollar una estación meteorológica ubicada en la ESPOCH sede Matriz-Orellana para la obtención de datos útiles con el fin de generar una alerta temprana fitosanitaria de la plaga “monilla” a través de un algoritmo basado en lógica difusa para plantaciones de cacao. La seguridad de los equipos prevalece ante cualquier situación y se optó por cambiar la ubicación de la Estación Meteorológica Automática al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, que es aliado estratégico del Proyecto de Investigación de Alertas Tempranas Fitosanitarias Agrícolas al cual pertenecen los equipos. Las condiciones climáticas de la región amazónica del Ecuador (Coca), hace que las plantaciones presenten varios tipos de enfermedades y plagas, donde sobresalen: “escoba de bruja” *Moniliophthora perniciosa*, “mazorca negra” *Phytophthora palmivora* y, el caso de estudio, la “monilla” *Moniliophthora roreri*. Se analizaron muestras enfermas y sanas de un mismo árbol tomadas aleatoriamente caracterizando la enfermedad y mediante análisis de las condiciones ideales de presencia y crecimiento de la plaga. Se implementó una estación meteorológica que obtendrá información de datos climáticos acerca de los cultivos, sobresaliendo: la humedad, temperatura, dirección del viento, precipitación y radiación solar. El sistema de almacenamiento de estos datos se realizó directamente a la nube por medio de una Raspberry Pi 4. Con dicha información se diseñó un algoritmo que determinó el comportamiento de esta plaga mediante lógica difusa para la generación de la alarma temprana fitosanitaria, misma que se envió por medio de un *mail*. Se concluye que la implementación de la estación meteorológica proporcionó datos fiables para elaborar la alarma fitosanitaria para alertar a las entidades involucradas y que se tomen acciones preventivas. Por esta razón se recomienda la implementación de estas alarmas para evitar pérdidas relacionadas con este tipo de plaga en plantaciones de cacao.

Palabras clave: <ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA (EMA)> <DATOS CLIMÁTICOS> <MONILLA (*moniliophthora roreri*)> <ALARMA FITOSANITARIA> <SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE DATOS >.



Flujo de información por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

2080-DBRA-UPT-2021

2021-11-10

ABSTRACT

The main objective of this degree work was to develop a meteorological station located in the ESPOCH Headquarters-Orellana to obtain useful data in order to generate a phytosanitary early warning of the "monilla" pest through an algorithm based on diffuse logics for cocoa plantations. The safety of the teams prevailed in any situation, so it was decided to change the location of the Automatic Meteorological Station to the National Institute of Agricultural Research, which is a strategic ally of the Project for Agricultural Phytosanitary Early Warning Research to which the teams belong. The climate conditions of the Amazon region of Ecuador (Coca), makes the plantations develop various types of diseases and pests, where they stand out: "witch's broom" *Moniliophthora perniciosa*, "black cob" *Phytophthora palmivora* and, the case study, the "monilla" *Moniliophthora roreri*. Random diseased and healthy samples from the same tree were analyzed, characterizing the disease and by analyzing the ideal conditions of presence and growth of the pest. A meteorological station was installed which will obtain information on climatic data about the crops, highlighting humidity, temperature, wind direction, precipitation and solar radiation. The storage system of this data was made directly to the cloud by means of a Raspberry Pi 4. With this information, an algorithm was designed which determined the behavior of this pest through fuzzy logic for the generation of the phytosanitary early alarm, which was sent by means of an email. It is concluded that the implementation of the meteorological station provided reliable data to prepare the phytosanitary alarm to alert the entities involved and that preventive actions are taken. For this reason, it is recommended to implement these alarms to avoid losses related to this type of pest in cocoa plantations.

Keywords: <AUTOMATIC METEOROLOGICAL STATION (AMS)> <CLIMATE DATA> <MONILLA (*moniliophthora roreri*)> <PHYTOSANITARY ALARM> <DATA STORAGE SYSTEM>.



Financiada electrónicamente por:
**NELLY MARGARITA
PADILLA PADILLA**

INTRODUCCIÓN

El cacao, también llamado “Pepa de Oro” o “Alimento de los Dioses”, antiguamente en la zona de América Central se utilizaba como moneda para la comercialización por medio del trueque, donde los Mayas y los Aztecas lo cultivaban por su tan codiciado uso. En el transcurso de la historia, este fruto se lo preparaba como bebida y tenía el nombre de “xocoalt” y se asemeja a lo que ahora se lo conoce como el chocolate convencional. Uno de los viajes que realizó Colón a América Central tuvo como resultado la llegada del cacao al viejo continente, pero quien realmente popularizó el cacao en esta parte del mundo fue Hernán Cortés en el año 1500. Desde este suceso se empezó a realizar recetas a base del cacao y este fue el punto de partida para que el cacao se conociera en todo el mundo (Fersenth et al., 2016, p. 7).

El paso de los años ha hecho que el cacao se convierta en un producto con una alta demanda y altos estándares de calidad. Se sabe que la zona del mundo donde más producción de cacao existe es África que abarca un 75% del total de las producciones, seguido de Asia con un 13% y en tercer lugar dejando a América tropical con un 12% de producción de cacao. Estas cifras están en constante variación, pero esta suele ser la tendencia (Álvarez et al., 2014, p. 389). Ecuador ocupa alrededor de un 5% de la parte correspondiente a América Tropical y con un porcentaje de exportaciones del 7% a nivel global (Ramos, 2018, p. 81).

Una de las principales razones del decaimiento de la producción del cacao en el Ecuador son los relacionados a las plagas o problemas fitosanitarios. Estas complicaciones tienen influencia con el poco control que se tiene sobre los cultivos y la fluctuante variación de las condiciones climáticas que se tiene en la región (Álvarez et al., 2014, p. 389). La plaga que ataca de manera más severa al cacao en esta región es la *Moniliophthora roreri* o también conocida como “monilla” que es causada por la presencia del hongo llamado *Moniliophthora pernisiosa* (Álvarez et al., 2014, p. 389), lo que puede llevar a pérdidas de cada mazorca de cacao desde un 5% hasta una pérdida total del fruto. Por lo cual, genera impactos en la economía del país puesto que la exportación del mismo es la tercera más importante en el territorio.

La meteorología es una ciencia que facilita pronósticos y avisos acerca del tiempo, por esta razón, permite a investigadores el análisis de diferentes fenómenos que puedan o no suceder en un ambiente específico en escenarios futuros (Campetella et al, 2011: p. 9).

La región amazónica del Ecuador, específicamente en la localidad del Coca-Joya de los Sachas, posee características meteorológicas trópico-húmedas por la presencia de los vientos alisos provenientes de zonas profundas de la Amazonía. Sin embargo, esta tipología no se mantiene de manera constante en la zona teniendo variaciones en diferentes características como la velocidad del viento, radiación solar, precipitación, etc. (Campetella et al, 2011: p. 9).

Una estación meteorológica es la encargada de realizar mediciones con el afán de generar registros de variables climáticas a través de diferentes tipos de instrumentos de medida para recolectar información. Dichos artefactos de medición no tienen un sistema de transmisión de los datos obtenidos que hace obligatorio que la recolección de la información sea realizada por personal capacitado y, dependiendo del grado de precisión, se podrá analizar la efectividad de la información obtenida (Campetella et al, 2011: p. 10).

Los medios inalámbricos transportan señales electromagnéticas que representan a los datos que se envían de dos elementos, el emisor y el receptor pasando por un canal no tangible. Actualmente, las comunicaciones inalámbricas han contribuido al desarrollo de la sociedad por la razón de que permiten la transmisión en tiempo real de información entre varios puntos conectados a través de internet.

En el presente trabajo de titulación se lo ejecutará con el fin de implementar una estación meteorológica en el Coca-Joya de los Sachas en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, todo esto buscando dar una respuesta para el requerimiento dado por el proyecto de Alertas Tempranas Fitosanitarias Agrícolas PATFA, al cual pertenecen los equipos implementados en la estación meteorológica. Dicho objetivo es el monitoreo de las variables climatológicas que inciden de mayor manera en el desarrollo y crecimiento de la “monilla” en las plantaciones de cacao. De esta manera obtener un algoritmo que caracterice la presencia de este patógeno que afecta drásticamente a las plantaciones del producto. Se busca también, la subida de datos a la nube por medio de una comunicación inalámbrica para obtener una alarma fitosanitaria en base al algoritmo desarrollado que se enviará por medio de un correo electrónico a los involucrados en el proceso de cultivo del cacao.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El cacao conocido con el nombre de *Theobroma* que es originario de la Amazonía trópico-húmeda de países sudamericanos, en los cuales destacan Ecuador, Colombia y Venezuela por sus ubicaciones y características ambientales adecuadas. La cantidad de hectáreas de cacao sembrado en el Ecuador es de alrededor de 243.146, de estas se pueden extraer un valor estimado de 268.582 toneladas. Una de las principales zonas del país en las que se cultiva es la parte de la Amazonía que posee alrededor de 44.300 hectáreas (Cadena, 2020, pp. 35-37).

El autor Caicedo et al. (2014, pp. 99-101) habla que este tipo de cultivos, por sus características, se ven afectados de gran manera por las enfermedades, plagas y hongos que se generan en el ambiente, esto conlleva a que se produzcan pérdidas. Otro de los factores que afectan es el poco o nulo conocimiento que tienen los productores sobre el manejo adecuado del cultivo, ya que en su mayoría son empíricos y no llevan una guía adecuada del control de plagas. Las diversas enfermedades y plagas que afectan al cacao son varias como la “escoba de bruja” (*Moniliophthora perniciosa*) o la “mazorca negra” (*Phytophthora palmivora*), pero la que más destaca es la “monilla” (*moniliophthora roreri*) que produce una pérdida del 5% hasta el 100% de cada mazorca de cacao que contamina.

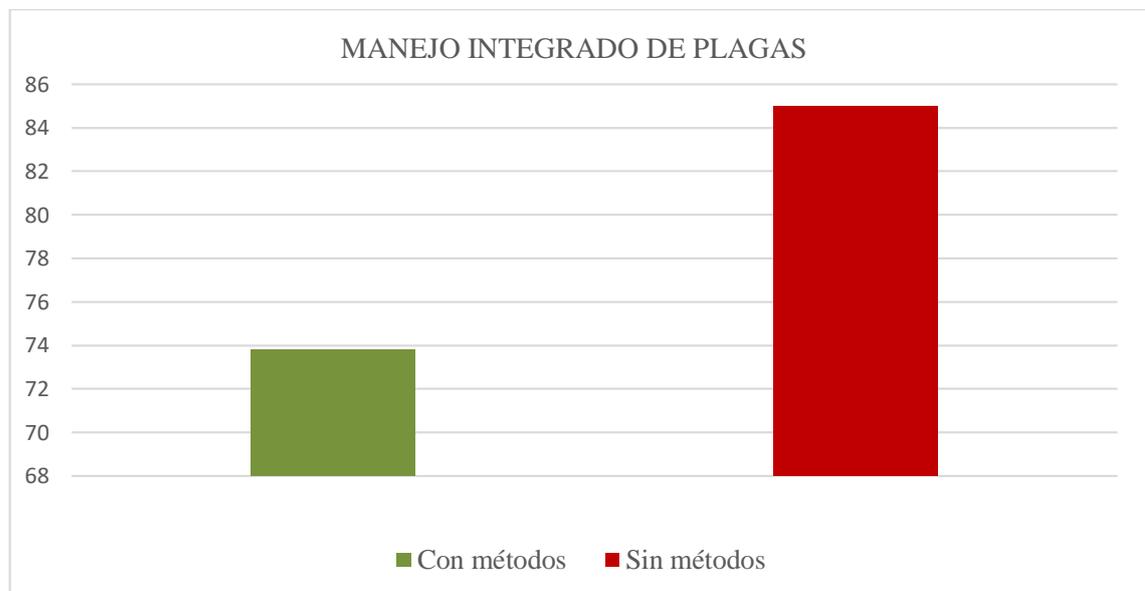


Gráfico 1-1: Descripción del manejo integrado de plagas con el uso de métodos de control.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Para tratar de contrarrestar estos efectos se aplica el Manejo Integrado de Plagas comúnmente conocido por MIP. Este proceso fue aplicado en la amazonia ecuatoriana en diversos cultivos durante dos años que usaron diversas técnicas combinadas usando controles químicos cúpricos y controles biológicos por medio de *Trichoderma ovalisporum* (hongo encargado de controlar la “monilla”). Como se evidencia en el gráfico 1-1 al aplicar estos métodos, se vio resultados favorables donde disminuía la incidencia de la “monilla” en un 14% lo que a su vez reflejo también aumentos en la producción obteniendo una ganancia en la producción de alrededor de 1.040 kg/ha/año. Estos datos dan indicios que las prácticas culturales oportunas conjunto con los MIP si aportan de manera beneficiosa para contrarrestar la “monilla” en el cacao sembrado en la amazonía ecuatoriana (Caicedo et al., 2014, pp. 99-100).

Una de las alternativas a escoger es la implementación de la agricultura de precisión, esta técnica tuvo sus indicios en los 90s. En sus primeras etapas solo consistía del uso de GPS y de esta manera poder proporcionar datos sobre los sembríos agrícolas por medio de un geo posicionamiento del cultivo en tiempo real. Posteriormente, se tomó estos datos y se incorporó una serie de sensores que proveerían de mayor información sobre los mismos. Una vez integrados estos elementos se generaron datos de interés y se los sometieron a un *software*, es aquí donde se coteja los datos y de esta manera se pudo generar un mapa de rendimiento de un cultivo en base a datos proporcionados por ese sistema de información agrícola (Barriga et al., 2015, pp. 5-7).

Se debe tomar en cuenta que, en la mayoría de sembríos convencionales, no se pronostica ni se toma variables de ningún tipo, por lo que, no se hace un estudio para poder instalar este tipo de solución a las diversas complicaciones que se tiene en cuanto a plagas. La agricultura de precisión se la pretende aplicar a cultivos de cacao. Por esta razón, cambia por completo el concepto que se tenía sobre la agricultura en estas zonas ya que sus prácticas eran artesanales. Anteriormente no se tomaba en cuenta variables y datos que se puedan analizar y de esta manera, se pueda obtener un mejor resultado del producto ayudando tanto a los agricultores como a las personas que se involucran en todo el proceso de pre y post agricultura como se analizó en Caicedo et al. (2014, pp. 99-100).

Considerando que los elementos de adquisición de datos en la actualidad representan una inversión económica alta y personal bien capacitado verificado, se optó por el módulo Raspberry Pi 4 que se implementa. Este tiene una comunicación entre los dispositivos a utilizar y son capaces de enviar datos por comunicación *Wireless*. Otros dispositivos de comunicación con similares características, pero con altos costos son diseñados por empresas multinacionales fuera del país, como lo son estas empresas de ORVIBO, Schneider Electric, KNX, entre otros.

El uso de la tarjeta de programación Raspberry Pi 4 en la agricultura de precisión no es una innovación, existen registros donde se ha usado con un conjunto de sensores en forma de nodos. El uso de este dispositivo de programación se basa en sus ventajas de bajo coste económico y de bajo consumo de energía. Por lo general, este tipo de estaciones se las implementa en lugares donde su alimentación de energía se la hace por medio de paneles solares. También, se ha seleccionado por sus diversos tipos de comunicación que tiene, centrándose en la de tipo *Wireless*. De esta forma, se podrá subir a un espacio en la nube para realizar una visualización de forma remota de la recopilación de los datos, tomado de Chora et al. (2018, pp. 74-82).

Este trabajo de integración curricular fue elaborado con base a una necesidad presentada por el proyecto PATFA de la sede Orellana perteneciente a la ESPOCH. Este proyecto satisface el objetivo de monitorear las variables que inciden en el crecimiento de la monilla en plantaciones de cacao. Con la implementación de la estación meteorológica automática se pretende obtener un modelo que caractericen el crecimiento de la plaga en base a las variables climatológicas que se recolectan. Se pretende subir los datos meteorológicos adquiridos de manera automática a la nube por medio de un protocolo de comunicación inalámbrica basado en la Raspberry Pi 4 que ayudará al envío de datos técnicos y meteorológicos. También, lo que se plantea es disminuir la intervención del hombre para adquirir estos datos de esta zona específica cuyos problemas de accesibilidad y comunicación son de carácter importante y de tenerla en cuenta en todo momento.

1.2 Justificación teórica

Las plagas en los cultivos agrícolas pueden llegar a presentar una gran amenaza en la producción y generar grandes pérdidas a los agricultores. La prevención de estas diversas plagas se la realiza de manera empírica o por experiencia del agricultor lo que genera que no se controle de una manera correcta.

El beneficio que representa instalar una estación meteorológica y su adquisición de datos de una manera remota es realizar tareas de manera automática y controlar dispositivos conectados que, para el caso planteado, son los sensores. Esto en conjunto con una adquisición favorable y envío de datos a la nube por medio de un protocolo de comunicación *Wireless*, busca desarrollar un sistema de adquisición de datos que pueda ser visualizado desde cualquier punto con acceso a internet (Solano, 2021, pp. 5-7).

En base a lo analizado, en Ramírez et al. (2013, pp. 1-3) señala que el conjunto de esta información recolectada del cultivo se pretende usar para realizar estimaciones estadísticas en conjunto con la

información obtenida sobre la enfermedad, puntualmente hablando de la “monilla” (*moniliophthora roreri*). Se pretende elaborar un sistema de alarma fitosanitarias para que agricultores y productores puedan tomar una acción de control y prevención de la enfermedad antes de que se produzca y de esta manera se puede tener producto de calidad.

El sistema de adquisición de datos pretende proporcionar información al usuario sobre su sembrío agrícola independientemente del tipo que sea. El caso de análisis de este trabajo son las plantaciones de cacao. Las variables que se adquiere por medio de los sensores ayudarán a obtener información de las parcelas y de esta manera tomar acciones para prevenir enfermedades relacionadas, como pueden ser la falta de humedad en el suelo o las temperaturas excesivas. Estos se los podría evitar con una acción del productor agrícola (Ramírez et al., 2013, pp. 1-3).

Una de las mayores ventajas de la implementación de una estación meteorológica es su obtención de parámetros necesarios para determinar y caracterizar el ambiente y hábitat de la plaga. La “monilla” puede llegar a afectar desde el 5% hasta una pérdida total de cada cacao contaminado como se analizó en Caicedo et al. (2014, pp. 99-101).

Entre las diversas opciones que ofrece el mercado a la hora de subir datos de forma remota a la nube y los usados en las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) en tiempo real, se ha seleccionado usar la Raspberry por las prestaciones y ventajas que proporciona. Esta tarjeta de desarrollo libre tiene un bajo costo y bajo consumo de energía (Chora et al. , 2018, pp. 1-3) lo que es ideal para este caso puntual, pues la alimentación energética de la estación y de sus componentes se lo hace por medio de un panel solar que redirige la energía fotovoltaica recolectada y la almacena en una batería con las características apropiadas para abastecer sin ninguna complicación a este sistema.

Para conectar los diferentes dispositivos con la Raspberry se optó por utilizar comunicación serial RS-232. Esto permite al módulo recolección de datos para la subida directamente a la nube a distancia sin necesidad de cableado, puesto que, estas estaciones meteorológicas se encuentran en lugares apartados.

Los sensores que están instalados en la estación meteorológica permiten medir parámetros de temperatura, humedad, presión, lluvia, radiación solar global, radiación solar diferencial, temperatura del suelo, dirección y velocidad del viento. Todos estos datos son los que se pretenden enviar a la nube para poder cotejarlos con la caracterización de la plaga y de esta manera, elaborar un algoritmo que me permita generar una alarma fitosanitaria y evitar pérdidas de cacao en los cultivos analizados.

1.3 Justificación práctica

La estación meteorológica es un dispositivo donde se recopilan los datos de medición de las diferentes variables que están definidas por fenómenos atmosféricos y climatológicos donde se implementará la EMA. A través de estas, se pueden identificar variaciones y comportamientos de variables como: la temperatura, humedad del aire, la velocidad y dirección del viento, la presión atmosférica, la humedad, la intensidad y acumulación de la lluvia, radiación solar y otras condiciones meteorológicas, con el fin de predecir y prevenir posibles riesgos. En este caso puntual de estudio, se analizará los cambios y riesgos que se presentan en las plantaciones de cacao.

El presente trabajo es la implementación de una estación meteorológica que conjuntamente con un sistema de adquisición de datos pretende proporcionar información al usuario sobre su sembrío agrícola independientemente del tipo que este sea. Se obtendrán variables por un medio físico (sensores), lo que permitirá al usuario analizar las variables proporcionadas y así poder prevenir enfermedades como la “monilla”, entre otras relacionadas a los cultivos de cacao. Esta información servirá al usuario para poder tomar acciones en beneficio del cultivo y así evitar el ambiente en donde estas plagas se generan.

Los instrumentos de medición y el personal encargado se definen de acuerdo con la aplicación que se le va a dar a la información y estadísticas recopiladas con la estación meteorológica. Estos instrumentos y la EMA se deben ubicar en sitios estratégicos para la región geográfica. Se debe tomar en cuenta el tipo de cultivo para poder hacer el monitoreo y mediciones correspondientes. Se ha seleccionado este tipo de sensores convencionales para la implementación con el afán de reducir el costo de la misma. A su vez, en el caso de presentar fallas o daños, se puede realizar el reemplazo de una manera eficaz y sin complicaciones (Paniagua & González, 2021, pp. 8-12).

Una ventaja presente en la adquisición de datos es su fácil incorporación al sistema eléctrico y electrónico de la estación meteorológica, lo que hace innecesario una instalación externa para su alimentación de energía y se obtenga de la estación que es alimentada de un panel solar.

1.4 Alcance del proyecto

Este proyecto busca implementar una alarma fitosanitaria para los cultivos de cacao que presentan la plaga “monilla”. Esta enfermedad genera grandes pérdidas económicas, puesto que, si esta plaga entra a la mazorca tiene que ser desechada para evitar el contagio del resto.

En primer lugar, determinar las condiciones propicias en las que esta plaga se genera, contagia y esparce en esta zona. Este procedimiento se realizará de la siguiente manera:

- Recolección de ejemplares sanos y afectados de árboles aleatoriamente seleccionados. Esta práctica se la debe realizar con un espacio de 15 días a tres semanas.
- Tomar fotografías multispectrales en la misma zona y sin extraer el fruto del árbol.
- Las muestras se las analizará con el afán de caracterizar la enfermedad y determinar sus condiciones climáticas idóneas.

En segundo lugar, establecer un diseño adecuado de la estación meteorológica, esta deberá tener sensores específicos para adquirir las variables definidas de esta plaga. Los datos recabados se subirán directamente a la nube usando un protocolo de comunicación *Wireless* permitiendo visualizar los datos en tiempo real.

En tercer lugar, implementar un algoritmo basado en lógica difusa con los datos enviados a la nube. Esto se realizará la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4 que posee los protocolos de comunicación inalámbrica y, también, soporta la implementación de lógica difusa que define el algoritmo a utilizar.

Por último, emitir una alarma temprana fitosanitaria para el conocimiento del usuario y así tomar decisiones para evitar afectaciones al cacao relacionadas con la “monilla”. Por ejemplo, la aspersión de fungicidas, prácticas artesanales preventivas (poda), aplicación de minerales que ayuden a correcto crecimiento y desarrollo del cacao.

1.5 Delimitación Geográfica

El lugar que se seleccionará para la instalación del proyecto técnico, por nombre “Desarrollo de una estación meteorológica en la ESPOCH sede Orellana para generar una alerta temprana fitosanitaria de la plaga “monilla” en plantaciones de cacao”, debe cumplir con ciertos requisitos planteados por el PATFA. A su vez, se debe priorizar la seguridad y la integridad de los equipos debido a que la inversión es alta.

En este proyecto de investigación se cuenta con aliados estratégicos (INIAP y el MAG de Orellana). Estos servirán de facilitadores al momento de realizar trámites para la posterior instalación de la estación meteorológica. Por esta razón se ha visto prudente ubicar los equipos

en las instalaciones del INIAP. Este instituto proporcionará seguridad a la integridad de los equipos.

La figura 1-1 es la referencia geográfica tomada desde *Google Maps*, y la tabla 1-1 se obtiene las características espaciales de la latitud y longitud del espacio.

Tabla 1-1: Datos geográficos del INIAP donde se instalará la estación meteorológica

UBICACIÓN	Vía Sacha - San Carlos a 3 km de la entrada a la Parker, Cantón Joya de los Sachas, Orellana.
COORDENADAS	0°20'28.0"S 76°52'25.5"W
LATITUD	-0.341121
LONGITUD	-76.873749
ALTITUD	230 m s. n. m.
CLIMA	26 °C

Fuente: *Google Maps*

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021



Figura 1-1: Ubicación donde se instalará la estación meteorológica.

Fuente: *Google Maps*, 2021

1.6 Delimitación Temporal

El espacio de tiempo con el que se cuenta para realizar un trabajo de integración curricular es de un período académico ordinario. En este lapso de tiempo se deben realizar todos los parámetros y cumplir todos los objetivos planteados en el anteproyecto que fue aprobado por las autoridades pertinentes.

Este trabajo de titulación estará distribuido en diferentes fases que se detallan en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Distribución temporal del desarrollo de actividades del trabajo de titulación

ACTIVIDADES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5
Fase de caracterización de la plaga “monilla” en plantaciones de cacao					
Fase de determinación de diseño de la estación meteorológica					
Fase de desarrollo del sistema de adquisición y algoritmo de crecimiento					
Fase de validación del sistema de adquisición					
Fase de documentación					

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

1.7 Delimitación Sectorial

El sector en que se implementará la estación meteorológica debe cumplir con estamentos y alcances para que las variables recogidas sean valederas para el análisis de los factores climatológicos influyentes en el trabajo de titulación, es por esta razón que se ubicará en el sector cercano a las parcelas de cacao.

Por cuestiones de seguridad, la implementación de la estación meteorológica será en las instalaciones del INIAP, al ser este una institución que cuenta con todos los recursos para salvaguardar la integridad de los equipos.

Hay que recalcar que se elegirá este lugar para la instalación puesto que es aliado estratégico del PATFA y, también, se proporcionará información de los registros de la estación meteorológica para que se use a conveniencia por la institución.

La figura 2-1 se observa las instalaciones del INIAP en la ciudad del Coca perteneciente a la provincia de Orellana.



Figura 2-1: Instalaciones del INIAP en Orellana.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

1.8 Delimitación Institucional

Las instituciones que se involucrarán a lo largo del desarrollo del proyecto de investigación son: el INIAP, el MAG de Orellana y la ESPOCH, con su matriz y sede en la provincia de Orellana. Estas entidades son las encargadas de llevar a cabo las investigaciones, funciones y actividades desarrolladas en el transcurso del proyecto, cada una con metas específicas a cumplir.

El MAG de Orellana como ente público, proporciona personal capacitado y la información sobre la “monilla” y los datos históricos recolectados de la misma. El trabajo conjunto que han realizado a lo largo de los años con productores de cacao en el sitio ha ayudado a que se obtenga la información veraz sobre esta plaga que aqueja desde la década de los 70s que se tiene registros de su presencia en el Ecuador.

El INIAP y la ESPOCH son los encargados de trabajar y tratar esta información recolectada en pro de las investigaciones que buscan caracterizar la plaga “monilla”, también trabajan con caracterizar los equipos a utilizar para la toma de datos climáticos donde se basarán la investigación para realizar los parámetros fitosanitarios.

1.9 Planteamiento del problema

¿Cómo proporciona información útil el desarrollo de una estación meteorológica y un sistema de adquisición de datos para alertas tempranas fitosanitarias para el control de la plaga “monilla” en los cultivos de cacao en la sede de la ESPOCH en Orellana?

1.10 Sistematización del problema

- ¿Cuáles son las variables meteorológicas que favorecen el crecimiento de la plaga “monilla” en plantaciones de cacao?
- ¿Cuál es el diseño adecuado que deberá tener la estación meteorológica para que proporcione información necesaria para emitir una alerta temprana fitosanitaria de la plaga “monilla”?
- ¿Qué algoritmo permitirá determinar la probabilidad de crecimiento de la plaga “monilla” en función de los datos obtenidos a través de las mediciones de la estación meteorológica?
- ¿Cómo realizará el envío de información de las variables recolectadas por la estación meteorológica que influyen en el crecimiento de la plaga “monilla” en una plantación de cacao?
- ¿Cómo se comprobará el correcto funcionamiento de la alerta temprana fitosanitaria en función de los parámetros establecidos?

1.11 Objetivos

1.11.1 Objetivo General

Desarrollar de una estación meteorológica ubicada en la ESPOCH sede Matriz-Orellana para la obtención de datos útiles con el fin de generar una alerta temprana fitosanitaria de la plaga “monilla” a través de un algoritmo computacional en plantaciones de cacao.

1.11.2 Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones que permiten el crecimiento de la plaga “monilla” en las plantaciones de cacao en la sede de la ESPOCH en Orellana.
- Establecer el diseño adecuado para la estación meteorológica que proporcione información para emitir una alerta temprana fitosanitaria de la plaga “monilla”.
- Diseñar un algoritmo para determinar el crecimiento de la plaga “monilla” en función de los

datos obtenidos por la estación meteorológica.

- Implementar un sistema de comunicación para el envío de información que influyen en el crecimiento de la plaga “monilla” en las plantaciones de cacao en la sede de la ESPOCH en Orellana.
- Validar el sistema de alertas tempranas fitosanitarias implementado por medio de un protocolo de pruebas en función de los parámetros establecidos.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Cacao en Ecuador

El cacao es uno de los productos con mayor cultivo y exportación en el país, puesto que se lo siembra en gran parte de la Costa y la Amazonía llevando a posicionarse entre los productos con mayor exportación del Ecuador y dejando aranceles muy altos.

Como se define en Fersent et al. (2016, pp. 45-47), el cacao alrededor del año 1600 se empezó a cultivar en las cercanías de los ríos de la provincia del Guayas y con el tiempo se conoció como cacao nacional, en años posteriores se intensificó su cultivo a tal punto que se empezó a tomar un cultivo formal del cacao. Entre los años de 1860 y 1920 el cultivo de este producto fue tomando tanta fuerza al punto que se denominó en esta época como “Pepa de oro”, ya que el cacao empezó a ser el producto con mayor exportación del país generando grandes riquezas que dieron paso a formar empresas, un ejemplo de estas empresas es el INIAP como se detalla en la figura 1-2 que se dedica a la investigación y al estudio de diversos tipos de plantaciones, donde destaca el cacao.



Figura 1-2: Parcelas de cacao pertenecientes a INIAP.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

2.2 Producción de cacao en Ecuador

El *Theobroma* es un tipo de cacao que es originario de la zona subtropical de América y se convierte en el pilar fundamental de la economía del sector agropecuario. Este fruto es la materia prima para la elaboración de diversos productos que van desde la alimentación hasta la cosmética.

En el país se puede estimar que los sembríos de cacao son alrededor 340.000 hectáreas, donde cerca del 80% se encuentran en una edad que se puede sacar una productividad alta, generando alrededor de unas 50.000 toneladas que se usa en su mayoría para la exportación. La zona del país con mayor incidencia en la siembra del cacao es la Amazonía y que por sus características climáticas hace que el desarrollo de este cultivo sea óptimo para poder extraer alrededor de 50.000 hectáreas donde cerca del 85% corresponde al cacao de tipo nacional y el restante a otros tipos de cacao como se menciona en Fersent et al. (2016, pp. 45-49).

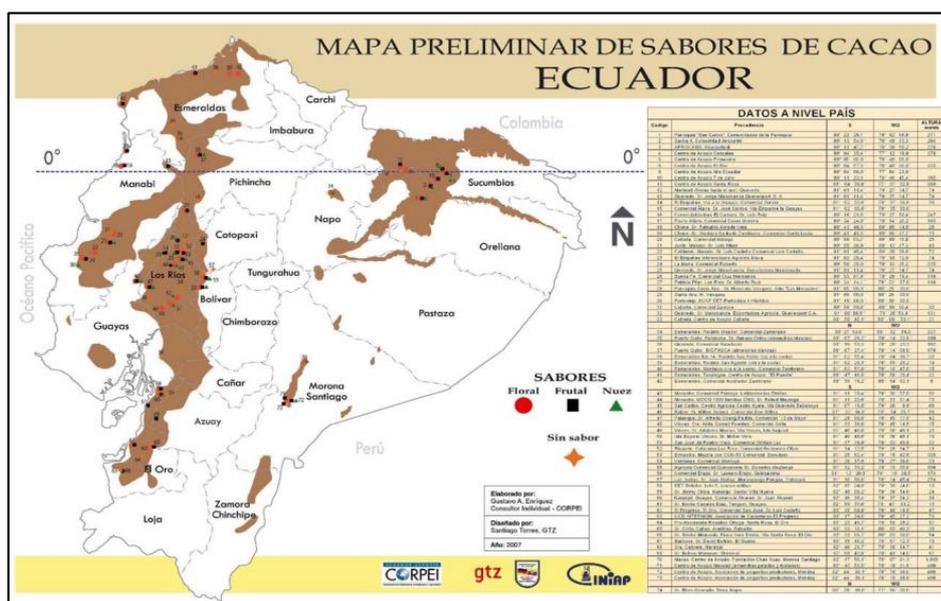


Figura 2-2: Provincias con mayor incidencia de sembríos de cacao.

Fuente: Quingaísa, 2007: p.13

2.3 Enfermedades del cacao

Las enfermedades o plagas que se presentan en el cacao suelen ser en su mayoría por su clima de desarrollo, este al ser húmedo genera diversas plagas que afectan directamente a su desarrollo y al fruto final. El cacao, al ser un producto tan apetecido por su aroma y sabor, se ve afectado drásticamente por estas plagas, sobresalen:

- Escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*)
- Mazorca negra (*Phytophthora palmivora*)
- Monilla (*Moniliophthora roreri*)

El presente trabajo de titulación se centrará principalmente en una de estas plagas anteriormente mencionadas, como es la “monilla”. Esta plaga afecta directamente al fruto de la mazorca, una vez que se genera puede darse una pérdida desde el 10% hasta el 100% de cada mazorca contagiada. Esto genera que los estudios cada vez aumenten y haya base en su control y eliminación de dicha plaga por medio de prácticas artesanales o fungicidas (Caicedo et al., 2014, pp. 99-101).

2.3.1 Escoba de Bruja

Esta enfermedad conocida como “escoba de bruja” es producida por un hongo (*Crinipellis pernicioso Stahel*). Su aparición fue a finales del siglo XIX y desde entonces, esta enfermedad afecta directamente a diversas partes de la plantación como lo son la corteza del árbol y el fruto mismo y provoca su reducción a su rendimiento y productibilidad desde un 50% hasta un 90% como se detalla en Hernández (2016, pp. 1-4).

De acuerdo con Hernández (2016, pp. 1-4), el hongo causante de la “escoba de bruja” afecta a diversas partes de la plantación del cacao y es por esta razón. Al momento de la detección de la enfermedad en las hojas o tallos donde ataca, comienzan a secarse y a caer estas zonas afectadas en cuestión. A su vez, esta comienza a marchitarse y al cabo de varios días esta planta muere, y es en este momento donde se produce una disminución hasta en un 90% de toda la producción y, por consiguiente, genera grandes pérdidas económicas.

2.3.2 Mazorca Negra

Otra de las enfermedades que afecta de gran carácter la producción de cacao es la “mazorca negra”. Esta enfermedad es muy agresiva por su amplia gama de tipos y existencia de variaciones de la misma. Esta plaga tiene un nivel patológico bastante contagioso y una de sus soluciones es la caracterización y aislamiento de los frutos que estén contagiados. Estos cacaos llegan a tomar un color oscuro, de ahí viene su nombre. Esta plaga afecta directamente a la corteza del fruto y de una manera menor a su interior como se observa en la figura 3-2. Esto hace que esta plaga sea acometedora si no se la trata con cautela, tomado de Cedeño et al. (2020, pp.1-4)



Figura 3-2: Ejemplares con la enfermedad de “mazorca negra” en Ecuador.

Fuente: PROCACAO, 2017: p. 1

2.3.3 *Monilla*

La “monilla” es una de las enfermedades más graves que se tiene en los cacaos. Esta plaga es muy agresiva y ataca directamente al interior del fruto llevándole a que se genere pérdidas desde un 10% hasta la pérdida total del ejemplar. Esta enfermedad se genera en sus primeras etapas similares a la mazorca negra, pero se caracterizan por una tonalidad diferente. El hábitat humedad donde se desarrollan los cacaos hace que esta plaga también se origine y expanda si no se tiene los cuidados previos y adecuados, detallado en Ramírez et al. (2013, pp. 1-3).

La “monilla” hace que sea la enfermedad más temida por los productores, pues genera pérdidas totales del fruto después de entrar en contacto con el fruto. Se debe tener en cuenta que si se detecta en una plantación se la procede a retirar a la mazorca enferma y de esta manera se logre frenar la propagación por la parcela, datos recabados de Ramírez et al. (2013, pp. 1-3).

Al caracterizar esta enfermedad como la más peligrosa que se tienen en los cacaos se ha visto prudente centrar el estudio de este trabajo en ella para contrarrestar e identificar los factores que la generan y las condiciones idóneas donde esta se desarrolla.



Figura 4-2: a) Plaga “monilla” en el fruto y b) cultivos de laboratorio.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

2.4 Alarmas Fitosanitarias

La presencia de las plagas en los cultivos es un inconveniente que aqueja a los productores, puesto que genera grandes pérdidas de producto lo que desemboca en un problema a nivel económico. Las alarmas fitosanitarias se crearon para avisar de alguna forma a los productores o entidades reguladoras de la presencia de los agentes patógenos en los frutos y de esta manera evitar la propagación de la plaga hacia otras regiones.

Como se detalla en Cevallos (2018: pp. 4-12) existen entidades que regulan el comercio, producción y medidas de control de los productos de origen vegetal para que se ajusten al comercio ya sea interno o internacional de los productos. El énfasis que se ha puesto en este aspecto es de controlar la existencia de plagas que puedan aquejar los cultivos en diferentes zonas donde llegue el producto lo que desembocaría en mutaciones que podrían ser más nocivas.

En Cevallos (2018: pp. 4-12) también habla de la formación de la convención internacional de protección fitosanitaria donde estuvieron involucrados alrededor de 5 países, donde su principal prioridad era evitar que se expanda de manera peligrosa la plaga *phylloxera* en la década de los 80's, pero fue hasta el año de 1995 para que se formalicen los acuerdos sobre la problemática fitosanitaria.

Las entidades con mayor peso en el ámbito del control de plagas son cuatro, pero la que más sobresale es el AMSF (Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias) es que toma mayor importancia al tema fitosanitario a la hora de la comercialización, como se habla en Cevallos (2018: pp. 4-12)

El control que se tiene en cuanto a las plagas y enfermedades de los cultivos es crucial para su correcta producción y comercialización. En este caso puntual, se habla del cacao como material de producción y la “monilla” como plaga a analizar la misma que se busca emitir una alarma fitosanitaria para evitar su proliferación.

2.5 Meteorología

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define a la meteorología como el estudio de la atmósfera y sus fenómenos. Su aplicación se evidencia en el trabajo realizado para describir, analizar y predecir cualquier tipo de variables meteorológicas existentes, que poseen transformaciones a partir de los fenómenos que ocurren a lo largo de la atmósfera. Esta información se emplea desde tiempos remotos en áreas como la bioclimatología, climatología, la agricultura, la hidrología, la navegación, la astronomía, la generación de energía, entre otros. Según lo revisado en Garzón & Rincón (2017: p. 8)

2.6 Variables Atmosféricas

La atmósfera junto con sus estados físicos y químicos se pueden describir por medio de las siguientes variables: presión, temperatura, densidad y viento. Los tres primeros parámetros son cantidades escalares y, por otro lado, el viento que es una cantidad vectorial con componentes en las direcciones horizontal y vertical. (Reyes, 2002: pp. 30-32)

2.6.1 Presión

En Reyes (2002: pp. 32-37) detalla que la presión de un fluido se precisa como la fuerza por el área que se ejerce en el fluido en cualquier dirección y esta variable atmosférica solo depende del movimiento molecular de los elementos del fluido y estos de la temperatura y de la densidad del fluido a estudiar. En términos meteorológicos, la presión que se puede registrar en un observatorio que se encuentre localizado a cualquier altitud sobre el nivel del mar, se le conoce como presión actual, en la figura 5-2 se puede visualizar de mejor manera el experimento de Torricelli para la

medición de la presión atmosférica. Esta presión no puede ser utilizada ya que la Organización Meteorológica Mundial, establece que para que pueda ser utilizada con fines prácticos se lo tiene que reducir al nivel del mar.

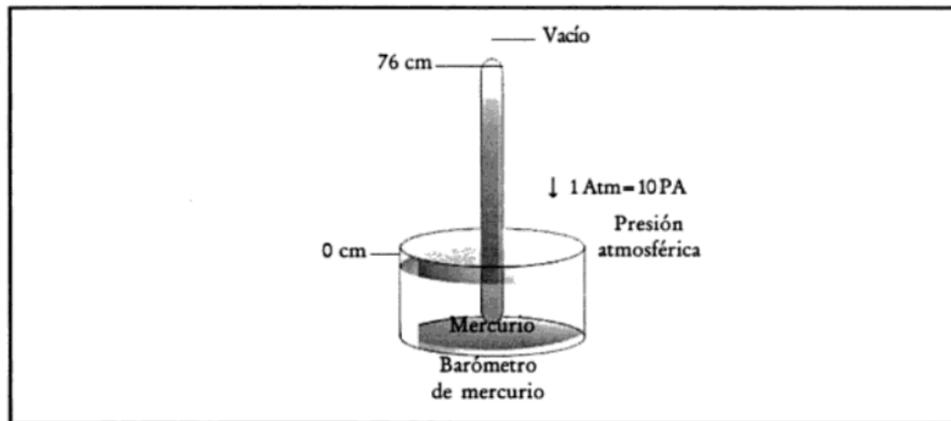


Figura 5-2: Experimento para medir la presión atmosférica por Torricelli.

Fuente: Reyes, 2001: p. 33

2.6.2 *Temperatura*

Según lo analizado en Reyes (2002: pp. 40-42) los átomos y moléculas que componen a toda la materia están en constante movimiento y gracias a este movimiento o vibración molecular, se produce los estados de la materia (sólido, líquido, gaseoso, plasmático y condensado de Bose-Einstein). Asimismo, cuando un cuerpo o fluido se enfría, su energía cinética y, por las menciones anteriormente expuestas, la temperatura también se aumenta o merma, respectivamente.

Para obtener un concepto de temperatura más fácil de comprender se toma como la sensación de calor o frío en la materia. (Reyes, 2002: pp. 40-42)

Para poder obtener o medir la temperatura se utiliza cualquiera de las siguientes escalas:

- Celsius o centígrados
- Fahrenheit
- Kelvin

La escala de medición Celsius o centígrados está basada en los puntos de fusión 0 grados centígrados y de ebullición 100 grados centígrados del agua destilada a 1 atmósfera de presión. Por otra parte, la escala Fahrenheit está fundada en el punto de fusión de una solución saturada de sal (0 grados Fahrenheit) y de ebullición del agua (212 °F).

El factor de conversión entre estas dos escalas se las detalla en la ecuación 1.1 para grados Celsius y en la ecuación 2.1 para grados Fahrenheit como se detalla a continuación:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \frac{5}{9} \tag{1.1}$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}^{\circ}\text{C} + 32 \tag{2.1}$$

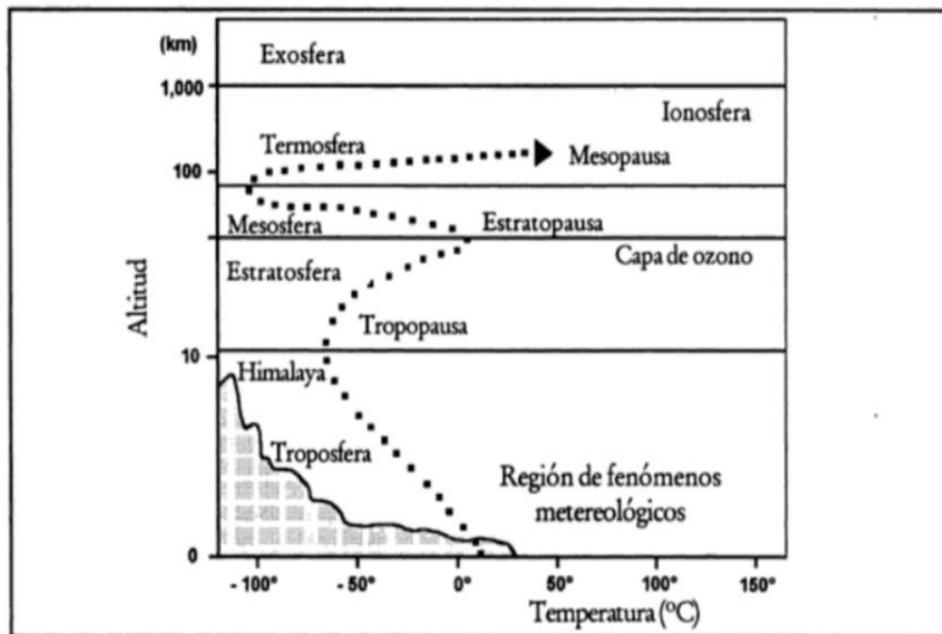


Figura 6-2: Temperatura en la atmósfera representada en una estructura vertical.

Fuente: Reyes, 2001: p. 44

2.6.3 Humedad Relativa

Según ORGANIZACIÓN METEOROLOGÍA MUNDIAL (2018: pp. 13-16) la humedad relativa es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión de vapor observada y la tensión del vapor saturante con respecto al agua a una misma temperatura y presión. Esta variable meteorológica es importante puesto que, se necesita para el cálculo de la densidad del aire y, por consiguiente, determinará la potencia que se obtiene del viento, figura 7-2.

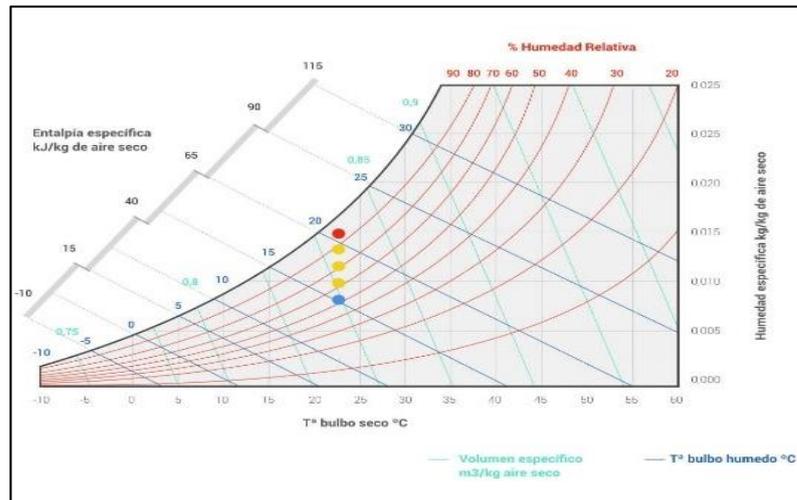


Figura 7-2: Humedad específica de aire respecto a la temperatura.

Fuente: S&P, 2018

2.6.4 Precipitación

En base a lo analizado en Organización Meteorología Mundial (2018: pp. 13-16) la precipitación, en meteorología, se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor que mengua de las nubes o el aire y se consigna en el suelo. Esta cantidad de precipitación que se sitúa sobre un punto de la superficie terrestre se la conoce como pluviosidad o, a su vez, monto pluviométrico.

2.6.5 Radiación Solar

Según la Organización Meteorología Mundial (2018: pp. 13-16) la radiación solar es la energía que proviene del sol y es recibida por la tierra, esta energía incidente en la superficie terrestre se manifiesta de tres maneras diferentes:

2.6.5.1 Directa

Directa: es aquella energía que llega sin cambio de dirección y no tiene interacción con nada. Se considera la más significativa en un día con sol.

2.6.5.2 Difusa

Es la energía que se obtiene como producto de los choques de la radiación directa con los demás componentes atmosféricos. Es la que se obtiene en los días nublados.

2.6.5.3 Reflejada

Esta radiación se origina de la reflexión de la radiación directa en los elementos del medio.

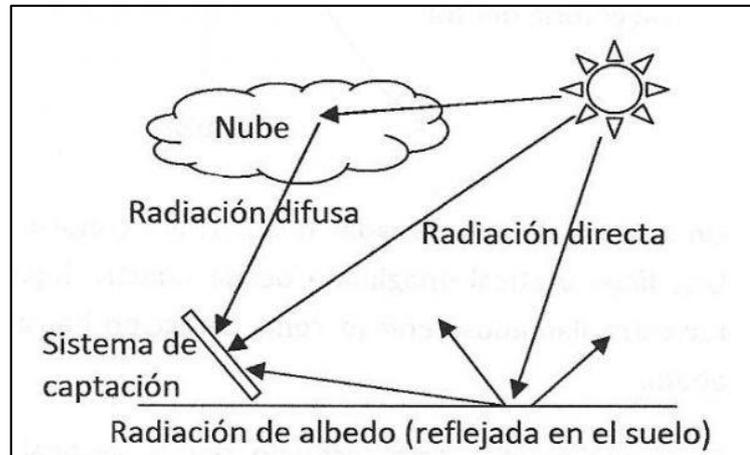


Figura 8-2: Tipos de radiaciones: directa, difusa y reflejada

Fuente: AulaFacil 2-9

2.6.6 Velocidad y Dirección del Viento

La velocidad del viento es una magnitud vectorial tridimensional que sufre fluctuaciones aleatorias a escala pequeña en el espacio y en el tiempo que se superponen a un flujo organizado de una escala mayor, como se analizó en Organización Meteorología Mundial (2018: pp. 13-16). Por otro lado, la dirección del viento hace referencia a la dirección desde la que sopla el viento y se mide en sentido de las manecillas del reloj teniendo en cuenta el norte geográfico o el norte verdadero como se lo conoce. (Organización Meteorología Mundial, 2018: pp. 13-16)



Figura 9-2: Sensor inteligente para medir la velocidad del viento.

Fuente: EIC Group

2.7 Estación Meteorológica

Una estación meteorológica es la encargada de realizar mediciones con el afán de generar registros de variables climáticas a través de diferentes tipos de instrumentos de medida de dicha información. Dichos artefactos de medición no tienen un sistema de transmisión de los datos obtenidos, esto hace de carácter obligatorio que la recolección de dicha información sea realizada por un ser humano y dependiendo del grado de precisión se podrá analizar la efectividad de la información obtenida.

La obtención de la información meteorológica involucra abundantes procesos a nivel local y mundial para su respectiva transferencia de datos y, de esta manera, el público recibe el estado del clima actual y en ocasiones su pronóstico para los siguientes días a través de los medios de información: internet, televisión, redes sociales, etc. (Campetella et al, 2011: pp. 8-11)

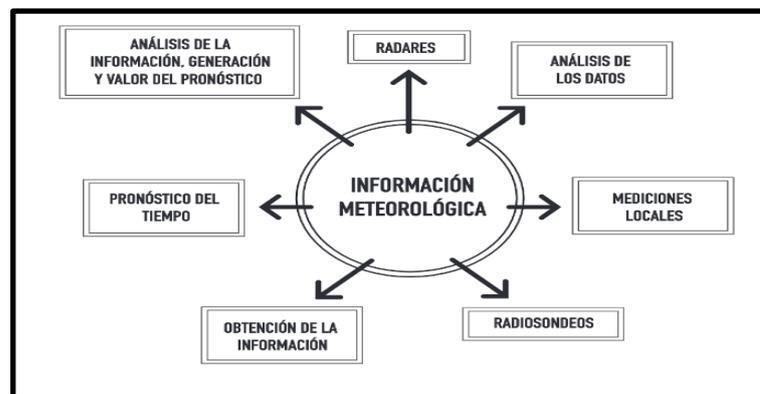


Figura 10-2: Red Conceptual de una Estación Meteorológica.

Fuente: Campetella, 2011: pp. 8

En la actualidad, los pronósticos del clima y del tiempo son realizados a fin de proteger la propiedad y vida de las personas, salvar las cosechas de un grupo de agricultores de posibles eventos repentinos extremos y, también, la planificación de las actividades de los grupos de decisión. Cabe mencionar que no siempre se requiere un pronóstico para fines de investigación sino también, para cualquier tipo de actividades cotidianas desde el estado de carreteras hasta la planificación de actividades al aire libre. (Campetella et al, 2011: pp. 8-11)

Por esta razón, es que la calidad e importancia de las mediciones y los productos meteorológicos radica en el valor socio-económico de los mismos. Por ejemplo, en ciertas partes de América se considera que por cada 1 dólar que se ha invertido en dicha tecnología se estima una ganancia de casi 100 dólares. (Campetella et al, 2011: pp. 8-11)

2.7.1 Estaciones Meteorológicas Automáticas

Según Garzón & Rincón (2017: pp. 8-10) una EMA es un conjunto de diferentes instrumentos y sensores eléctricos y electrónicos para la obtención de información de parámetros meteorológicos y para las lecturas son acondicionadas y luego procesadas con la tecnología de los microcontroladores o microprocesadores según el caso, para posteriormente ser transmitidas a través de un sistema de comunicación de una manera automática.

Se debe tener en cuenta también, que una EMA debe contar con la capacidad para funcionar de manera autónoma todo el día, esto se logra de manera usual con un sistema de alimentación a través de energía renovable como la energía solar.

2.7.2 Estaciones Meteorológicas en Ecuador

El apogeo de las estaciones meteorológicas en otros países ha hecho que en el Ecuador trabaje y ponga como una de sus prioridades la medición de las variables meteorológicas. El órgano regular que labora principalmente con las estaciones meteorológicas es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Esta entidad, a lo largo del país, tiene instaladas varios de estos equipos que extraen datos y los cotejan para darle un uso valioso a esta información, en la figura 11-2 se puede observar una distribución de las estaciones meteorológicas que se encuentran instaladas a lo largo del país.

El INAMHI es la entidad técnico-científico responsable en el Ecuador de la generación y difusión de la información hidrometeorológica que sirva de sustento para la formulación y evaluación de los planes de desarrollo nacionales y locales y la realización de investigación propia o por parte de otros actores, todo esto apoyado por personal especializado y capacitado y en una adecuada utilización de las nuevas tecnologías de la automatización, información y comunicación. (INAMI, 2021)

Ecuador cuenta con 377 estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo del territorio nacional, donde existen de dos tipos: las automáticas y las convencionales. En la zona del Coca en Orellana, se encuentran dos estaciones pero una está fuera de servicio cuyo código es M1221. En cambio, la otra si se encuentra en correcto funcionamiento cuyo código es la M0563.

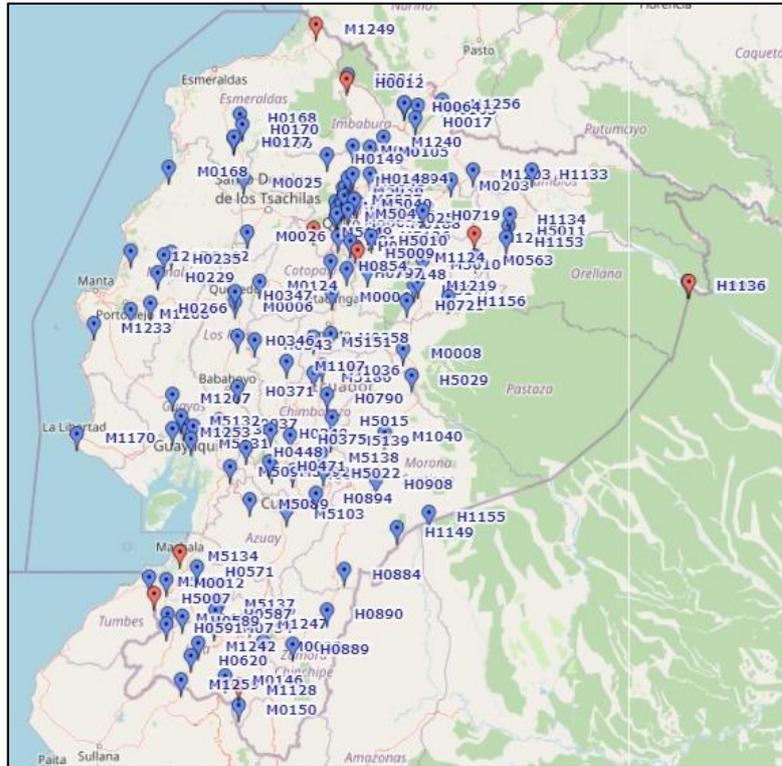


Figura 11-2: Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas

Fuente: INHAMI, 2021

2.8 Instrumentos de Medición

Los instrumentos de medición tienen que ser elementos que se encuentren de una manera permanente en contacto con sus respectivas variables a medir y, de esta manera, poder convertir las variables físicas en variables eléctricas para su posterior procesamiento. Para el tipo de estación que se implementará, se debe tener en cuenta los tipos de sensores, entonces, se debe tener en cuenta las características para la posterior elección de los mismos:

- Rapidez de respuesta
- Rango
- Resolución
- Precisión
- Sensibilidad

Entonces, los instrumentos de medición, se clasifican en:

- Analógicos: La señal varía, a medida macroscópica, de carácter continuo. La información está en la amplitud, si bien se suele incluir en este grupo los sensores con salida en el dominio temporal.
- Digitales: La salida varía en forma de pasos discretos. No se necesitan o demandan conversión A/D, simplificando su manejo. (Garzón & Rincón, 2017: pp. 13-16)



Figura 12-2: Instrumentos de medición analógicos y digitales.

Fuente: Akribis, 2020

2.9 Estándares de Medición

Los sensores que irán incorporados a la estación meteorológica miden diferentes variables con sus estándares de medición. Aristizábal et al. (2012: pp. 15-16) habla de la calibración y precisión de los sensores es fundamental para la medición de los parámetros climáticos puesto que la información recolectada en la zona donde se ubiquen los equipos debe ser veraz.

Cada instrumento de recolección de datos tiene sus estándares de medición, se detallan en la tabla 1-2. Dicha tabla muestra cada sensor con su respectiva unidad de medida con la que enviará la información hacia el registrador de datos.

Tabla 1-2: Unidades de medidas de los sensores empleados

SENSOR	MEDIDA
SENSOR DE LLUVIA PLUVIOMETRO TR525	mm

MODULO BAROMETRICO R2850152	hPa
SENSOR DE RADIACION SOLAR REDIOMETRO CM3	W/m ²
SENSOR DE RADIACION GLOBAL SR05-A1	W/m ²
SENSOR DE TEMPERATURA DEL SUELO TDR-315H	C° - % - uc/cm
SENSOR DE PRESION BAROMETRICA P4230056	hPa
SENSOR ANEMOMETRO ULTRASONIDO 86000-SDI	m/s - °
SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD HMP-155 CON COLLAR DE POSTRE	C° - %

Fuente: Aristizábal et al. (2012: pp. 15-16)

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

2.10 Sistema de Adquisición de Datos

Después de analizar en Garzón & Rincón (2017: pp. 18-20) se define a los sistemas de adquisición de datos, como los encargados de recibir la información analógica (señal eléctrica) que se obtuvo de los sensores o transductores y después convertirlos en datos digitales (bits) a través de un conversor analógico-digital (ADC).

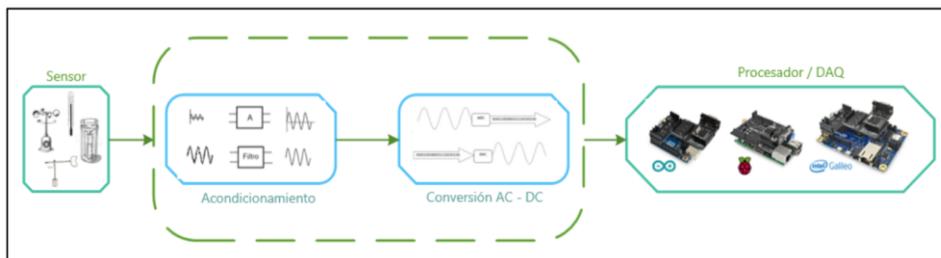


Figura 13-2: Esquema básico de un sistema de adquisición de datos.

Fuente: Garzón, 2017: pp. 18

Las etapas que intervienen en el proceso de adquisición se pueden ver claramente en la figura 13-2.

a) Sensor

Según el análisis de Garzón & Rincón (2017: pp. 18-20), el sensor es aquel elemento que tiene la función principal ya que tiene el contacto con la variable física a medir para después poder

convertirlo en una variable eléctrica. Se debe tener en cuenta que se tiene que realizar acondicionamiento de la señal debido a que los sensores son susceptibles al ruido.

b) Acondicionamiento de la señal

Según lo leído en Garzón & Rincón (2017: pp. 18-20) los sistemas de acondicionamiento se aplican en la salida del sensor cuando se manifiesta una impedancia de valor alto por la razón de que los multiplexores analógicos tienen pequeñas capacitancias que pueden mostrar como dificultad en aplicaciones de rápida conmutación.

Algunos de estos procesos esenciales para realizar un justo acondicionamiento son:

- Amplificación
- Aislamiento
- Filtrado
- Linealización
- Atenuación

c) Conversor Analógico-Digital (ADC)

En base a lo analizado en Garzón & Rincón (2017: pp. 18-20) el conversor analógico-digital especifica una señal analógica en distintos niveles de voltaje a una mayor cantidad de divisiones, mejor resolución de valores posibles, lo que aumenta el rango de bits necesarios para poder representar todos los datos.

Al momento de tomar muestras de la señal original y discretizar se da una mínima, pero presente pérdida de información que es el que se toma en cuenta para lograr la resolución del instrumento. Los principales tipos de conversores son:

- ADC de aproximación sucesiva
- ADC de Voltaje a Frecuencia
- ADC Sigma-Delta

2.11 Sistema de Procesamiento de Datos

Los sistemas de procesamiento de datos son los encargados de tomar uno o variados datos digitales en sus entradas para someterlos a un determinado proceso aritmético para,

posteriormente, visualizarlos o para que sean almacenados en una memoria digital, tomado de Garzón & Rincón (2017: pp. 20-22). El núcleo de estos sistemas de procesamiento de datos se lo denomina CPU. Este se compone principalmente de un microprocesador, una memoria de programa, una memoria de datos y un reloj. El procesador posee un set de instrucciones booleanas y aritméticas que permiten operar cualquier otro tipo de número binario de una cierta longitud dependiendo del tipo de procesador.

a) Placas de desarrollo para sistemas de adquisición de datos

Según lo analizado en Garzón & Rincón (2017: pp. 20-22) las placas de desarrollo consisten en variados sistemas integrados que se encuentran en un único circuito general que ha sido prediseñado para cumplir con ciertas características:

- Resolución y cantidad de canales en un conversor analógico-digital
- Capacidad y velocidad de un microprocesador
- ROM y RAM

Las placas de desarrollo con tecnologías más sobresalientes son:

- Raspberry Pi
- Arduino
- Galileo de Intel & Arduino
- Texas Instruments



Figura 104-2: Tarjetas de programación más comunes.

Fuente: ¿Qué tarjeta de desarrollo elegir?, 2020

2.12 Sistema de Almacenamiento de Datos

En base a lo analizado en Garzón & Rincón (2017: p. 21) los sistemas de almacenamiento de datos son un conjunto de componentes que son empleados para leer o retener información como

soporte del almacenaje de datos, esto se puede realizar de una forma temporal o permanente. El dispositivo puede realizar dos tipos de almacenamiento: primario o secundario.

Para el primer caso, donde el almacenamiento es primario se tiene en cuenta a los dispositivos que manejan almacenamiento pesado y además que el dispositivo principal se mantenga constante de energía, por la razón de que la información es guardada en la memoria de dicho dispositivo o de lo contrario estos datos se pierden. Por otro lado, el almacenamiento secundario, su proceso es secuencial. La información se guarda hasta que el o los usuarios la requieran, por lo que se utilizan elementos externos para almacenar.



Figura 115-2: Varios sistemas de almacenamientos de datos primarios y secundarios

Fuente: Qué es un dispositivo de almacenamiento de datos, 2020

2.13 Sistema de Visualización de Datos

El proceso tiene como objetivo que el usuario tenga el conocimiento entendible y en detalle sobre la información presentada, es el sistema de visualización de datos según Garzón & Rincón (2017: p. 21).

La secuencia que implica este proceso es que la información debe ser obtenida y analizada desde otro punto para que de esta manera se pueda identificar los datos que son útiles para el usuario y, obviamente, desechar los datos innecesarios. Para ello es esencial que aquella persona que busca dar a conocer la información, tenga claro que desea comunicar y también, que conozca las necesidades del usuario, convirtiéndolo así una forma más sencilla de transmitir solo la información necesaria.



Figura 12-2: Ejemplo de sistema de visualización de datos.

Fuente: Optimización de IIoT gracias a avances en *software* para HMI, 2020

2.14 Sistema de Alimentación del Sistema

Para poder definir qué tipo de sistema de alimentación se le aplicará al sistema, se debe primero identificar si el sistema debe ser autónomo o no. Los métodos de captación de energía deben ser diseñadas según la necesidad que requiere la alimentación. Teniendo en cuenta las disposiciones de la estación meteorológica, su emplazamiento y demás características, hace necesario que la alimentación sea continua y de forma autónoma. Un sistema de alimentación autónomo adecuado para la instalación de la estación meteorológica es el uso de paneles solares por lo que además se tiene que tomar en cuenta el análisis para la carga de las baterías y también, las horas del día donde la energía del panel solar no sea suficiente. Según lo analizado en Garzón & Rincón (2017: p. 22)



Figura 13-2: Paneles solares como fuente de energía en estaciones meteorológicas.

Fuente: GroundWork, 2021

2.15 Herramientas de desarrollo computacional

Los cálculos, análisis y tratamientos que se realizan con la información que se recolecta por medio de una estación meteorológica se deberá realizar por medio de *softwares* especializados y específicos para cada labor, puesto que, su análisis debe ser lo más fiable posible para poder obtener una información de calidad.

Se ha dispuesto utilizar una serie de herramientas tecnológicas para tareas determinadas en las acciones que realiza la EMA. Estas actividades van del cómo se recolecta la información, su forma en la que se envía, su manera en la que se lee y manejo de manera beneficiosa por el usuario.

2.15.1 Software MATLAB

Las referencias tomadas de MathWorks, Inc (1997: p. 2) habla de las diversas aplicaciones que se puede desarrollar por medio de este *software*. Estos van desde tratamientos de datos, gráficos en 2D y 3D, diseño de prototipos y desarrollo de algoritmos, entre otras. Su ambiente está dado por el uso de matrices, como está definido en su nombre comercial *Mat* (matrices) *Lab* (laboratorio), estas realizan interacciones y operaciones que ayudan a llegar al objetivo deseado.

La selección de este *software* como soporte es para el desarrollo del algoritmo que defina el crecimiento o aparición de la “monilla”, se hace uso de una herramienta que trabaja con lógica difusa. El llamado del comando *Fuzzy Logic Toolbox* abre una ventana donde se puede definir diversos valores que se ingresan como funciones de membresía para que, en base de las entradas, se pueda llegar a una salida que indique. Este caso particular, la presencia o crecimiento de la plaga.

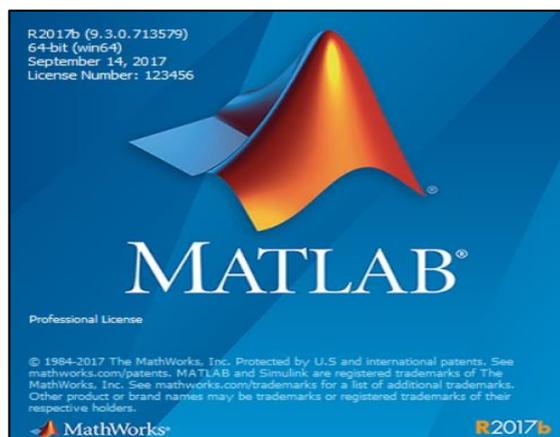
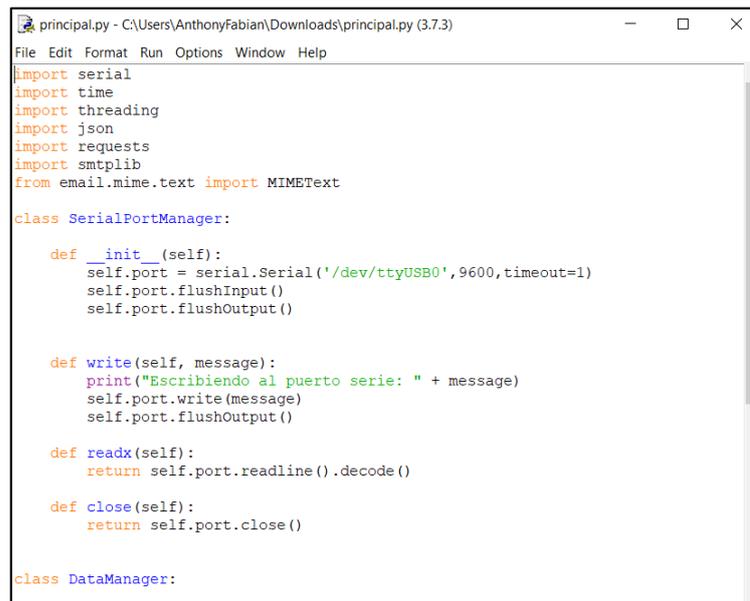


Figura 14-2: Software Matlab versión R2017b.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

2.15.2 Software PYTHON

El ensamblaje de código es una parte esencial para poder realizar el tratamiento de la información recolectada por la EMA, misma que se lo realizará en lenguaje Python donde según (15) habla del crecimiento y avance que tuvo el lenguaje de programación desde su creación en la década de los 90`s por el holandés Guido Van Rossumn, al ser un *software* libre es compatible con un amplia gama de aplicaciones por medio del acople de librerías que se crean para la incorporación del código de programación a diversos programas complementarios.



```
principal.py - C:\Users\AnthonyFabian\Downloads\principal.py (3.7.3)
File Edit Format Run Options Window Help
import serial
import time
import threading
import json
import requests
import smtplib
from email.mime.text import MIMEText

class SerialPortManager:

    def __init__(self):
        self.port = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600, timeout=1)
        self.port.flushInput()
        self.port.flushOutput()

    def write(self, message):
        print("Escribiendo al puerto serie: " + message)
        self.port.write(message)
        self.port.flushOutput()

    def readx(self):
        return self.port.readline().decode()

    def close(self):
        return self.port.close()

class DataManager:
```

Figura 19-2: Entorno de programación Python.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

2.15.3 Fuzzy Logic

La lógica difusa es una técnica de control y que se usa para poder generar estándares de respuesta por medio de variables lingüísticas. Según Montalvo et al (2020: pp. 18-34) el uso de la lógica difusa ayuda a definir un control inteligente a partir de axiomas matemáticos que definen el rango de fluctuación que tendrá la respuesta, definiendo rangos de representación.

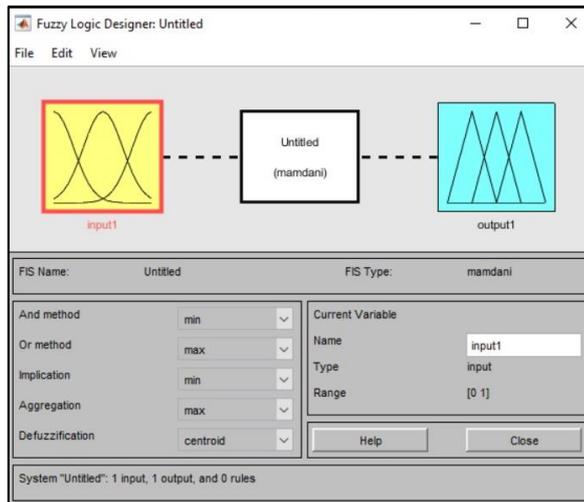


Figura 15-2: Fuzzy Logic Toolbox comando de Matlab.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

2.15.4 Software MAWS Lizard

Tener un software donde se pueda modificar los parámetros de entrada y de lectura de los sensores al *datalogger* es crucial, puesto que, no todos los dispositivos de medición tienen la misma recolección de datos. El programa MAWS Lizard permite configurar la lectura de la información recolectada, la ubicación en los canales del registrador de datos y la manera en que se enviará los datos para su visualización.

Esta herramienta computacional da la opción de modificar cada parte de la recepción de datos y su envío, lo que es crucial que sea de una manera clara y confiable. Los datos recolectados por parte de los sensores se envían por medio de una cadena que en este caso para el modelo QML 201C tiene por nombre MetMan10 que tiene un tipo único de separación de la información por puntos y comillas.

En la figura 21-2 se muestra el entorno que tiene el programa para modificar las formas en que se recibe la información

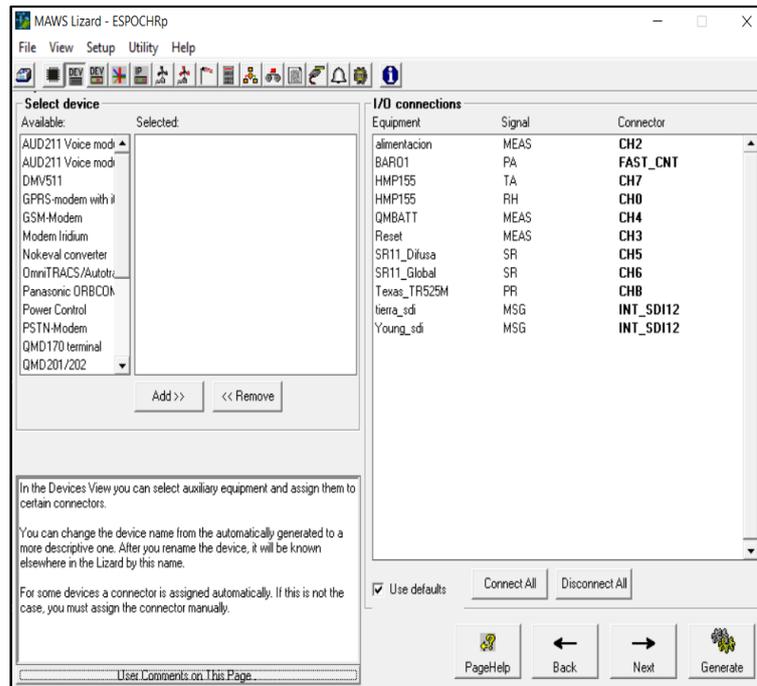


Figura 16-2: Modificación de las entradas de los sensores en el *software* MAWS Lizard.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

2.15.5 *Software* AWS Client

Poder visualizar los datos de una manera recolectados es una parte fundamental, puesto que, una vez definidos el modo de lectura y las entradas en las que ingresan los sensores al registrador de datos estos deben ser leídos de alguna manera.

El *software* AWS Client brinda la posibilidad de que la información recolectada se la pueda visualizar por medio de una interfaz que presenta. Para acceder a observar los datos recolectados por medio del *datalogger* se debe conectar por medio de su puerto COM 1 que tiene una comunicación RS-232, para ello se utiliza el cable RS-232 con salida USB conectando de esta manera al computador donde previamente se instaló el driver de conexión.

En la figura 22-2 se muestra el entorno que tiene el *software*.

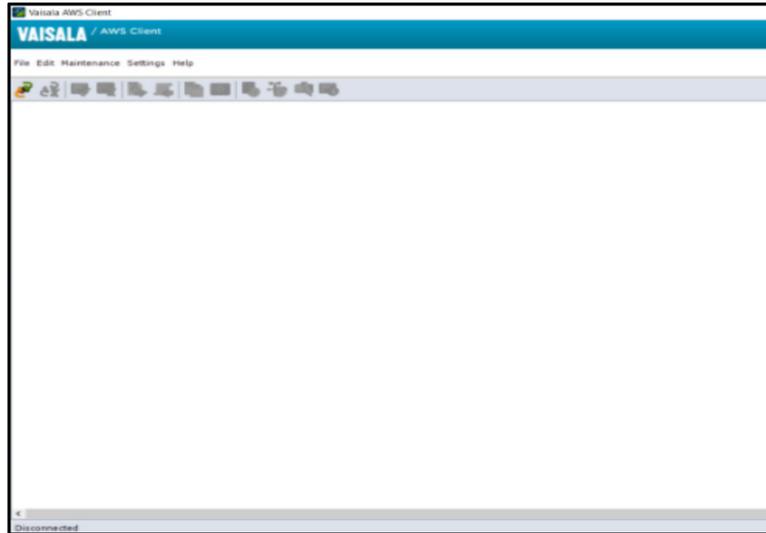


Figura 17-2: Entorno de visualización de datos AWS Client.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Planificación de la Construcción

El diseño y la distribución de los elementos que están integrados a la estación meteorológica deben ubicarse de manera segura para resguardar su integridad y alargar su vida útil. Por esta razón, se ha seleccionado materiales y elementos de la mejor calidad.

A continuación, se describe la integración de los elementos que constituyen la parte eléctrica, recopilación de información, envío y visualización de datos.

3.1.1 Estación Meteorológica

Definir los vestigios que forman parte de una EMA es crucial para el correcto funcionamiento. Es por esto, que se selecciona sensores con alta precisión y fiabilidad, pero hay que tener en cuenta que existen otras partes fundamentales que constituyen una estación.

La adquisición de datos se hace por medio de los sensores seleccionados hacia la memoria interna del registrador de datos por medio de sus canales de conexión para posteriormente subir la información a una base de datos en la nube. Este protocolo de comunicación se lo hizo por medio de una comunicación serial RS-232 con salida USB entre el *datalogger* y la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4.

El código donde están las configuraciones y envío de información se lo estructura en Python, mismo que se lo escribe en protocolo de datos LAMP donde se rigen las bases de datos. La visualización de la información se lo hace desde un HTML que realiza llamadas de los datos que se encuentran almacenados en la nube, también, con esta información se desarrolla el algoritmo encargado de determinar el crecimiento de presencia de la plaga en base a los datos climáticos recolectados por la EMA.

El Anexo A muestra los diferentes componentes que constituyen el sistema de recolección y envío de datos.

3.1.2 Circuitos

Los circuitos y su distribución se la emplean en dos elementos principales que son el registrador de datos VAISALA y la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4. En el *datalogger* se ubican las conexiones de los sensores, panel solar y alimentación de los circuitos. En la tarjeta de desarrollo se sitúa las conexiones pertinentes para la subida de datos recolectados por los sensores. Para las conexiones en el registrador de datos, se los divide en dos bloques principales que son: conexiones de sensores y conexión de alimentación del circuito.

3.1.2.1 Conexiones

Las conexiones de los sensores se los realizan usando los canales que están en el *datalogger*, mismos que se reparten en:

- Canal 0 al canal 8
- Canal A y B (para conexiones periféricas)

Cada canal posee 5 entradas que están caracterizadas por las letras F, E, H, L, y C donde se conecta los hilos de los sensores. Se tiene en total 10 entradas analógicas (20 entradas de un solo extremo).

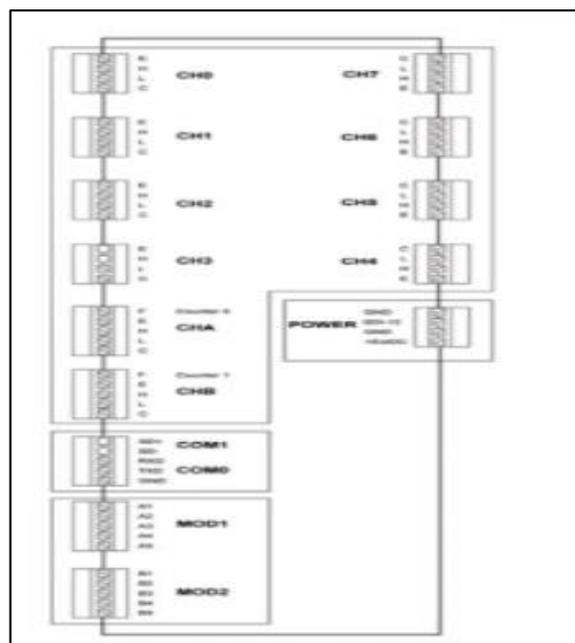


Figura 1-3: Diagrama de puertos de conexión del *Datalogger* QML-201C.

Fuente: D' Ortiz, 2018

El canal 0 y canal 7 se le incorpora el sensor HMP155, este posee mayor cantidad de hilos de conexión y, por esta razón, se usa dos canales del registrador de datos. Los cables de color amarillo, blanco, verde y gris pertenecen a la conexión interna de una PT100 dentro del sensor y se conectarán al canal 7 a los puertos E, H, L y C respectivamente. Al canal 0 se enlaza los cables: azul, café, rosa y rojo con protección a tierra que corresponden a los hilos faltantes del HMP155 y a su vez, se conecta a las entradas E, H, L y C respectivamente.

El registrador de datos posee tres tipos de comunicaciones: RS-232, RS-485 y SDI-12. El puerto que se elige para la conexión con la Raspberry Pi 4 por su compatibilidad es el RS-232. En este puerto se enlazan mediante un cable con salidas USB y RS-232.

Dos sensores a implementar en la estación meteorológica poseen comunicación SDI-12, estos sensores son el sensor ultrasonido anemómetro Young SDI 86000 y el sensor de temperatura del suelo TDR-315H. Al tener un solo puerto en el *datalogger* con comunicación SDI-12 se adapta de tal manera que los sensores puedan estar conectados en paralelo sin ninguna complejidad y que envíen los datos de manera fiable, teniendo en cuenta su alimentación directa con la batería. Dichos sensores poseen tres hilos de comunicación principales, que son: SDI+, SDI- y negativo. Hay que tomar en cuenta que los colores de los cables cambian en cada sensor.

El sensor barométrico P4230056 clase A es un módulo que se integra internamente al *datalogger* donde sus pines son los encargados de la comunicación de envío de datos. Este módulo posee una extensión tubular flexible hueca para acoplar directamente a una salida física del registrador de datos y así registrar la información de sus variables.

El canal 6 tiene el sensor CMP3 cuya función es el medir la radiación global. Este posee tres hilos que son: positivo, negativo y *shield*. Estos hilos son conectados a las entradas C, H y E respectivamente.

El sensor de lluvia TR525 W2 posee dos cables de color rojo para los datos positivos y negro para los datos negativos. Este dispositivo va conectado al canal B, el hilo rojo ingresa al puerto C y el hilo negro al puerto F.

Conexiones para la alimentación de energía

La alimentación del dispositivo se realiza en tres pasos diferentes:

- Panel solar-regulador de voltaje

- Batería-regulador de voltaje
- Regulador de voltaje-*datalogger*

El primer paso de la conexión eléctrica es acoplar los cables de la batería que son positivo y negativo directamente al regulador de voltaje. En segunda instancia, se incorpora los cables del panel solar a la entrada del regulador de voltaje perteneciente a las conexiones solares. Como parte final, se conecta la carga que, para este caso, es el registrador de datos. Del regulador de voltaje se extrae la carga positiva y negativa ya convertida en el rango establecida para el *datalogger* y se lo integra al canal de nombre “POWER” a sus puertos GND y +ExDC.



Figura 2-3: *Datalogger* con conexiones de los sensores.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.1.3 Conectores y Rieles

La caja de distribución contiene en su interior los elementos sensibles a la humedad y a la lluvia que estarán protegidos por la caja NEMA con dimensiones 40x40x20. Al interior lleva el *datalogger* VAISALA, el regulador de voltaje Phocos, la tarjeta de desarrollo Raspberry y la batería recargable solar. La protección que tiene la caja NEMA para los elementos que se ubican en su interior son de IP 67 que proporciona un sellado hermético al polvo y protegido contra

chorros de agua o lluvias torrenciales como las que se presentan en la zona donde está ubicada la estación meteorológica.

La distribución interna de estos elementos se realiza por medio de un riel DIN que ayudará a ubicar de manera estratégica todos estos elementos, con excepción de la batería que se colocará sin usar dicho riel.

El uso de borneras para los hilos de los sensores es fundamental para precautelar el cuidado y el correcto ensamblaje de las conexiones. Las canaletas de cables se las ubica estratégicamente para direccionar y dirigir de manera adecuada los cables alrededor de los equipos ubicados al interior de la caja.

Para la protección de los cables de conexión de cada uno de los sensores se ha acoplado una manguera de ½ pulgada con apantallamiento metálico para evitar la pérdida de información por interferencia de ruido externo o señales parásitas que comprometan la información recolectada por los dispositivos.



Figura 3-3: Riel, canaleta y amarras usadas en la instalación.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.1.4 Alerta Temprana Fitosanitaria

Los datos recolectados por medio de los sensores, tratados y almacenados en el *datalogger* VAISALA se los suben a la nube mediante el protocolo de comunicación HTTP para poder visualizar en un HTML.

El algoritmo computacional desarrollado con lógica difusa integra los datos de las estaciones implementados anteriormente y se logra obtener una caracterización de la alerta que informa la presencia de la plaga “monilla”, dichos datos se caracterizaron en base al estudio espectral de los cacaos.

La alerta temprana fitosanitaria llegará al productor por medio de un correo electrónico cuando los valores leídos por los sensores sean de alto riesgo para el cultivo. Con esta información el productor y los entes reguladores tomarán acciones preventivas para evitar la presencia de dicha plaga.

La información que se envía es el rango de presencia de la “monilla”. El algoritmo es el encargado de valorar la información recolectada en un día entero para posteriormente enviar un correo en horas de la noche indicando si las condiciones climáticas a lo largo del día hacen que la presencia de la plaga sea desde “Desfavorable” hasta “Muy favorable”

Es importante recalcar que la cuenta de correo debe ser creada en *Gmail* ya que en este servicio de correo electrónico se puedan acoplar en la programación para que se envíe automáticamente el mensaje con los datos de la alarma fitosanitaria, como se detalla en el Anexo E.

3.2 Elementos Utilizados

La selección de los elementos que se implementan en este trabajo de titulación se basa en un análisis de las necesidades y características que se necesitan en el proyecto, siempre precautelando la situación económica para abaratar costos, pero sin dejar de lado la calidad y precisión de los equipos.

3.2.1 Raspberry Pi 4

La comunicación de los datos a la nube se la hace por medio de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4 puesto que esta presenta varias ventajas al momento de realizar comunicación por medio del

internet, programación de la información que se suben y su costo que es relativamente bajo en comparación a otros elementos que tienen las mismas prestaciones.

Las características técnicas que presenta la Raspberry Pi 4 son partidarias y compatibles con los datos registrados con el *datalogger* VAISALA. La tarjeta de desarrollo se comunica por medio del protocolo serial RS-232 transmitiendo los datos de un equipo al otro y este subirá por medio de conexión a internet (*Wi-Fi*) a una base de datos que utiliza lenguaje PHP para la programación de recepción de la cadena de valores. Dicha cadena de valores debe estar en un estándar que pueda leerse tanto por la base de datos como la comunicación HTML. Este estándar de la cadena de valores se la cambia por medio de código de MetMan10 al estándar JSON para lectura en las bases de datos.

El algoritmo que se usa para definir la alerta fitosanitaria se lo puede trabajar externamente en otro computador, puesto que si se trabaja directamente en la Raspberry Pi 4 se estaría trabajando al máximo de su capacidad de procesamiento y se ralentizaría este proceso. Con los valores ingresados se obtiene un archivo desarrollado en lenguaje Python, se lo inserta en el ordenador con la activación de sus librerías y complementos debidos para que pueda leerlo y trabajarlo.



Figura 4-3: Tarjeta de desarrollo Raspberry pi 4.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.2 *Registrador de Datos VAISALA QML 201C*

El *datalogger* de la marca VAISALA es un CPU que cuenta con 32 bits que trabaja por medio de un *software* de validación de datos y otros *softwares* de configuración de lectura de los mismos.

La configuración de elementos que posee es flexible a la incorporación de nuevos cálculos, entradas y salidas de información y adaptabilidad a los requisitos del usuario, para su comunicación utiliza los protocolos RS-232, RS-485 y SDI-12. Estos se pueden expandir por medio de módulos extras.

El puerto SDI-12 se lo utiliza para la lectura de sensores que tiene esta comunicación y no se los puede leer directamente en los canales analógicos como es el caso del sensor ultrasónico YOUNG.

Para la comunicación a la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4 se utiliza la comunicación serial RS-232 que envía los datos recolectados con la itinerancia ya definida.

Los puertos que posee este registrador de datos son de 10 canales analógicos diferenciales, cada uno con sus respectivas líneas seriales adicionales, también tiene 8 salidas digitales y la misma cantidad para los sensores. Lo que va acorde al dimensionamiento y la cantidad de sensores que se posee para la lectura y adquisición de los diferentes datos.

La temperatura de trabajo varía de los $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ tanto para su correcto funcionamiento como almacenamiento de datos. Este rango de temperatura es la ideal para la ubicación de la estación meteorológica ya que se la implementa en una zona tropical húmeda, también se sabe que la humedad en la que trabaja el *datalogger* es el 100% RH.

Posee una memoria de 4 MB de RAM y de programa. También, tiene 3.3 MB de memoria flash interna que sobrepasa la dimensión del archivo que se sube con la configuración de los puertos y comunicación que tiene cada uno de los canales donde se conectan los sensores.

El voltaje de alimentación varía desde los 8 a 30 voltios es por ello que se implementa en la estación meteorológica un panel solar con una batería solar que abastece 12 o 24 voltios según el requerimiento de la carga, esta carga es ajustada por el regulador de voltaje Phocos que protege al sistema contra sobrecargas al sistema.



Figura 5-3: Registrador de datos VAISALA QML 201C.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.3 Sistema de Alimentación de Energía

3.2.3.1 Batería Solar RITAR

La batería *Ritar*, que tiene la estación, es un banco de energía recargable solar de 12 voltios y a 26 amperio/hora que abastece sin complicaciones a los sistemas eléctricos.

Esta energía debe pasar por el regulador de voltaje, se lo instala con una protección para sobrecorrientes mediante un fusible de 6 amperios para precautelar la integridad de los equipos.



Figura 6-3: Batería solar RITAR.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.3.2 Regulador de voltaje para el panel solar PHOCOS CMLUP2

Controlar el voltaje y corriente que ingresan a los equipos es una medida de seguridad fundamental y necesaria, de esto depende su correcto funcionamiento sin pérdida de datos recolectados. La ubicación de un regulador de voltaje es una pieza que debe ir siempre acoplada a los elementos eléctricos que trabajen con recolección de datos puesto que, si este sistema de alimentación de energía no es el correcto, la información que recopila corre el riesgo de perderse.

También, cabe recalcar que no solo se lo utiliza para conectar la carga, su otro propósito es el de cargar la batería solar que almacena energía en horas de la noche. Su regulación de voltaje es tanto para la batería solar como para el registrador de datos donde su alimentación de energía es por medio de un panel solar.

Estos tres elementos se conectan al regulador donde se puede ver incluso el estado de carga de batería por medio de tres leds indicadores.

Este dispositivo posee tres entradas para conexiones como se visualiza en la figura 7-3 donde ingresa los hilos con carga positiva y negativa del panel solar, de la batería solar recargable y de la carga a alimentar.



Figura 7-3: Regulador de voltaje Phocos CMLUP20.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.3.3 Panel Solar

El panel solar que se selecciona para recargar la batería es de la marca Zimpertec y cuenta con características que abastecen satisfactoriamente a las demandas del sistema de alimentación que se especifican en la tabla 1-3.

Tabla 3-1-3. Características técnicas del panel solar

Panel Solar ZIMPERTEC	
Pico de potencia Pmax	200 W
Corriente máxima de poder Impp	10.92 A
Voltaje máximo de poder Vmpp	18.3 V
Corriente de corto circuito	11.8 A
Voltaje de circuito abierto	22.5 V
Peso	14.3 Kg
Dimensiones en mm	1330*992*35
Voltaje máximo del sistema	700 V

Fuente: Datasheet Panel Solar ZIMPERTEC

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

En la figura 8-3 se puede evidenciar el panel solar a implementar en conjunto con la placa posterior donde se encuentran sus datos de operación y medidas.



Figura 8-3: Panel solar Zimpertec.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.4 *Sensores*

Los sensores que se ocupan en la estación meteorológica se han seleccionado en base a estaciones ensambladas previamente por los diversos proyectos implementados en la ESPOCH, pero tomando en cuenta la calidad y mejor versión de los sensores para medir las variables que se desea cotejar.

La calibración de los sensores de la estación meteorológica ha sido realizada por parte de cada uno de los respectivos fabricantes, en el Anexo I se muestra el certificado de calibración proporcionado conjuntamente con el equipo.

3.2.4.1 *Sensor de lluvia TR525*

El sensor de lluvia TR525 W2 de la marca Texas Electronics reside en recolectar la lluvia por medio de un embudo desviando el agua hacia un mecanismo de cuchara basculante que tiene imanes conectados a los extremos del mecanismo, finalmente manda impulsos magnéticos según sea el flujo de agua.

El agua sale por la parte inferior de la estructura que se está recubierta por polvo blanco metálico en su base y en el embudo por polvo dorado metálico y por esta razón resiste de mejor manera los daños por exposición ambiental. En la tabla 2-3 se representa sus características técnicas.

Tabla 3-2-3: Características técnicas del sensor de lluvia TR525 W2

SENSOR DE LLUVIA TR525 W2	
Resolución	0.01" or .2 mm
Precisión	0-2 pulgadas (50 mm) por hora; +/- 1%
Distancia	27" (700 mm por hora)
Tiempo promedio de cierre de switch	135 ms
Tiempo máximo de ajuste de rebote	0.75 ms
Clasificación máxima de del interruptor	30 VDC @ 2 ^a 115 VAC @ 1 ^a
Temperatura de operación	32° a 158° F
Temperatura de almacenamiento	-40° a 185° F
Límites de humedad	0 a 100%
Altura	11.125"
Peso	1.8 libras

Fuente: Datasheet TR525 W2

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

El sensor con su hoja de especificaciones dada por el fabricante se muestra en la figura 9-3.



Figura 9-3: Sensor de lluvia TDR 525.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.4.2 Módulo barométrico R2850152

El sensor barométrico se lo implementa en la parte interior del *datalogger* ya que, al ser de la misma marca del registrador de datos VAISALA, se acopla internamente a los pines para su medición directa y registro de los datos medidos.

Acoplado a este, una sección tubular hueca que se une a un potenciómetro que ayuda a medir la presión barométrica de la ubicación, esta misma sección se le conecta a una salida mecánica específica dentro del equipo. La tabla 3-3 dicta las especificaciones técnicas.

Tabla 3-3: Características técnicas del sensor barométrico R2850152

SENSOR BAROMÉTRICO R2850152	
Precisión	Clase A
Linealidad	+/-0.05 hPa
Histéresis	+/- 0.03 hPa
Repetibilidad	+/- 0.03 hPa
Incertidumbre de calibración	+/- 0.07 hPa
Precisión a + 20 °C	+/- 0.10 hPa
Precisión total a -40 ... +60 °C	+/- 0.15 hPa
Resolución	+/- 0.01 hPa
Rango de temperatura de operación	-40 +60

Fuente: *Datasheet* sensor barométrico R2850152

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

El acoplamiento que tiene este sensor es en forma de módulo como se mencionó en el anterior párrafo, la figura 10-3 muestra el sensor.



Figura 10-3: Sensor de presión barométrica R2850152.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.4.3 Sensor de radiación solar CMP3

Poder tener a la mano los datos de la cantidad de radiación que se tiene a lo largo del día es algo que se ha visto prudente tener dentro de la información que presenta la estación meteorológica, por esta razón se ha acoplado un sensor que mida la radiación solar.

La selección del sensor CMP3 se realiza por medio de diversas ventajas y funciones que este posee, ya que su precisión es muy alta. De esta manera la información que se presente por medio de este sensor será de alta confiabilidad.

Su conexión se la hace por medios de los hilos de comunicación que posee, estos se lo acoplan a un canal del *datalogger* donde su configuración previa permite la visualización en los rangos de valores que recoge su señal.

La hoja de datos, el sensor y el certificado de calibración que se observan en la figura 11-3 llegaron directamente del fabricante lo que hace que su confiabilidad sea mayor.



Figura 11-3: Sensor de radiación solar CMP3.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

En la tabla 4-3 se dan las especificaciones del sensor de radiación solar CMP3.

Tabla 4-3: Características técnicas del sensor de radiación solar CMP3

SENSOR DE RADIACIÓN SOLAR CMP3	
Unidades de medición (SI)	Irradiancia en W/m^2

Ángulo de campo de visión	180°
Rango de medición	0-2000 W/m ²
Rango de sensibilidad	7-30 x10 ⁻⁶ V/(W/m ²)
Potencia del sensor requerida	0 (Sensor pasivo)
Salida de voltaje esperada	Bajo radiación solar natural: -0.1 a +50 x10 ⁻³ V
Rango de temperatura de funcionamiento nominal	-40 a +80 °C
Rango espectral (20% puntos de transmisión)	285 a 3000 x10 ⁻⁹ metros
Rango de resistencia del sensor	40 a 80 ohmios
Lectura requerida	1 canal de voltaje diferencial o 1 canal de voltaje de un solo extremo, resistencia de entrada mayor a 10 ⁶ ohmios
Resolución de la irradiancia	Depende del equipo de lectura, registrador de datos 7 x10 ⁻⁶ V con resolución diferente para 1 W/m ² resolución en irradiancia
Trazabilidad de calibración	Desde WRL hasta ISO 9846 e ISO 9847 aplicando una conexión a las condiciones de referencia
Método de calibración	Calibración interior según ISO 9847, tipo IIc

Fuente: *Datasheet* CMP3

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.4.4 *Sensor de temperatura del suelo TDR-315H*

La temperatura del suelo es un factor importante para el desarrollo de los cultivos de cacao. Por esta razón se vio prudente tener un sensor con una alta precisión de recolección. Mismo que proporciona información de la temperatura, humedad, permitividad, conductividad eléctrica del suelo y conductibilidad eléctrica del poro de agua. Todo esto se logra por medio el sensor TDR-315H, este sensor usa la tecnología TDR que ayuda a tener una alta precisión sin importar el tipo de suelo donde se implemente.

Esta conexión del sensor al *datalogger* se lo hace por medio de 4 hilos. Este sensor usa un voltaje de 6-30 VDC que se proporciona por el registrador de datos. Las especificaciones técnicas se encuentran en la tabla 5-3.

Tabla 3-5-3: Características técnicas del sensor de temperatura del suelo TDR-315H

	Rango	Precisión	Otros
Temperatura	-40 a 60 °C	+/- 0.25 °C	Tipo Pt100 ½ DINB
Humedad	0 a 100% HR	+/- 1% 0 a 40% RH	Tipo de cable M12
Permitividad	1 a 80	+/- 1 de la unidad medida	-
Conductividad eléctrica del suelo	0 a 5000 us/cm	+/- 25 us/cm	-
Conductividad eléctrica del poro de agua	0 a 55000 us/cm	-	-

Fuente: Datasheet TDR-315H

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

En la figura 12-3 se muestra el sensor TDR-315H que mide la temperatura del suelo.



Figura 12-3: Sensor de temperatura del suelo TDR-315H.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.4.5 Sensor de presión barométrica P4230056 Clase A

La presión barométrica es un factor fundamental a medir puesto que se ha seleccionado un factor que proporcione datos sobre la repetibilidad, linealidad e histéresis con una alta precisión y resolución.

El sensor que se está utilizando tiene una configuración como extensión o módulo acoplado directamente al interior del *datalogger* que realiza las funciones de comunicación. La tabla 6-3 detalla las especificaciones técnicas del equipo y en la figura 13-3 se observa el sensor que brinda información sobre la presión barométrica.

Tabla 3-6-3: Características técnicas del sensor de presión barométrica P4230056

Sensor de presión barométrica P4230056 Clase A	
Precisión	Clase A
Linealidad	+/- 0.05 hPa
Histéresis	+/- 0.03 hPa
Repetibilidad	+/- 0.03 hPa
Incertidumbre de calibración	+/- 0.07 hPa
Precisión a +20°C	+/- 0.10 hPa
Precisión total -40 a +60°C	+/- 0.15 hPa
Resolución	0.01 hPa
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 a +60 °C
Dependencia de la temperatura	+/- 0.10 hPa
Estabilidad a largo plazo	+/- 0.10 hPa/año

Fuente: *Datasheet* sensor de presión barométrica P4230056

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021



Figura 13-3: Sensor de presión barométrica R2850152.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.4.6 *Sensor Anemómetro Ultrasonido 86000 SDI*

El anemómetro utilizado en la estación meteorológica tiene que ser de alto rendimiento, de preferencia con bajo consumo de energía y que tenga una alta precisión.

El sensor ultrasónico 86000 SDI cuenta con salidas analógicas para medir las variables de velocidad y dirección del viento, estas señales envían una corriente de 4-20 mA que se envían a cada canal conectado, también, estas son las de mejor rendimiento para largos tramos de cable o para entornos hostiles con alta contaminación de ruido.

Los materiales que componen la parte externa del sensor son resistentes a la corrosión y con un diseño aerodinámico para los transductores ultrasónicos que tienen como característica su sensibilidad.

Las especificaciones técnicas que tiene este sensor se lo detallan en la tabla 7-3 y en la figura 14-3 se muestra el equipo con el que se obtiene datos sobre el viento.

Tabla 3-7-3: Características técnicas del sensor anemómetro ultrasonido 86000 SDI

Sensor Anemómetro Ultrasonido 86000 SDI	
Velocidad del viento	0 a 75 m/s
Resolución de la velocidad del viento	0.01 m/s
Precisión de velocidad del viento	30 m/s +/- 2% o 0.01 m/s, 75 m/s +/- 3%
Tipo de respuesta velocidad del viento	< 0.25 seg
Dirección del viento	0° a 360°
Resolución de dirección del viento	0.1°
Umbral de inicio	0.01 m/s
Precisión de dirección del viento	+/- 2°
Tiempo de respuesta dirección del viento	< 0.25 seg
Salida serial	RS232 o RS485
Formato	ASCII, ASCUI poled, NMEA, RMYT, SDI-12
Salidas analógicas	0 a 5 V o a 4-20 mA
Escala analógica del viento	0-100 m/s
Escala de dirección analógica	0°-360° o 0°-540°
Temperatura de funcionamiento	-40 a 60 °C
Clase de protección	IP65

Fuente: *Datasheet* sensor anemómetro ultrasonido 86000 SDI

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021



Figura 14-3: Sensor de ultrasonido Young 86000 SDI.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.2.4.7 Sensor de temperatura y humedad relativa HMP 155

La medición de las variables de temperatura y humedad relativa deben tener alta precisión y confiabilidad puesto que estas variables son las de mayor importancia para la caracterización de la plaga a estudiar (“monilla”) es por esta razón que se seleccionó este sensor.

Este sensor dispone de una campana o collar de poste que ayuda al dispositivo a obtener una mejor calidad de medición de las variables de temperatura y humedad, dicho sensor posee una precisión basada en linealidad, histéresis y repetibilidad. A continuación, se tiene las tablas 8-3 y 9-3 donde se detalla las características técnicas del sensor HMP 155. También se encuentra el equipo en la figura 15-3.

Tabla 3-8-3: Características de humedad relativa del sensor HMP 155

HUMEDAD RELATIVA DEL SENSOR HMP 155	
Rango de medición	0-100% RH
Precisión (-20 a +40 °C)	+/- (1.0 +0.008 * lectura) % RH
Precisión (40 a 60 °C)	+/- (1.2 +0.012 * lectura) % RH
Precisión (-60 a -40 °C)	+/- (1.4 +0.032 * lectura) % RH
Incertidumbre de calibración (+20 °C)	+/- 0.6 % RH (0-40 % RH)
	+/- 1.0 % RH (40-97 % RH)
Tiempo de respuesta con filtro PTFE	63% 20 seg
	90% 60 seg

Fuente: Datasheet sensor HMP 155

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

Tabla 3-9-3: Características de temperatura del sensor HMP 155

TEMPERATURA DEL SENSOR HMP 155	
Rango de medición	-80 a +60 °C
Precisión de salida de voltaje (-80 a +20 °C)	+/- (0.226 -0.0028 * temperatura) °C
Precisión de salida de voltaje (20 a 60 °C)	+/- (0.055+0.0057 * temperatura) °C
Precisión con salida (IEC 751 Clase B)	+/- (0.1+0.00167 * temperatura) °C
Precisión con salida RS-485 (-80 a +20 °C)	+/- (0.176 -0.0028 * temperatura) °C
Precisión con salida RS-485 (20 a 60 °C)	+/- (0.07+0.0025 * temperatura) °C
Tiempo de respuesta (63%) para la sonda de temperatura adicional	63% <20 seg
	90% <35 seg

Fuente: Datasheet sensor HMP 155

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021



Figura 15-3: Sensor de temperatura con campana HMP155.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.3 Envío de Datos

La parte fundamental después de haber recolectado los datos es su envío, los sensores recolectan información que se almacena en la memoria interna del *datalogger* y se puede acceder a estos datos por medio de un cable de mantenimiento conectado al puerto de comunicación RS-232 con salida USB. Este se conecta al computador que tenga instalado el *software* AWS Client, este programa ayuda a visualizar las variables medidas en forma de tabla como se muestra en la figura 16-3.

Tabla de Valores Instantaneos	
Fecha:	1 / 1 / 2000
Hora:	23 :17 :47
Temperatura:	//////
Humedad:	////
Sens. Termica	
Presión:	//////
Lluvia:	0.0
Rad. Sol. Glob:	0
Rad. Sol. Dif:	0
Temp. Suelo:	////////////////////
Dir. Viento:	
Vel. Viento:	
V. Bateria	-0.34

Figura 16-3: Lectura de datos en el *software* AWS Client.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Lo que se busca es tener esta misma visualización de datos en tiempo real, pero de forma remota. Este objetivo se lo realiza mediante la tarjeta de programación Raspberry Pi 4, esta se conecta por medio de la misma comunicación RS-232 a una entrada USB de la tarjeta. Debido a sus

limitaciones de RAM y ROM de la Raspberry no se puede instalar el *software* AWS Client y por esta razón se instala programas y librerías adicionales que permitan enviar estos datos a la nube. La información de los sensores llega por medio de una cadena de valores configurada por medio del *software* MAWS Lizard donde su configuración es MetMan10 teniendo en cuenta que esta configuración no es un estándar que se pueda leer en sus bases de datos, por esta razón se la cambia a la cadena de valores a la configuración JSON. Una vez cambiada la cadena de valores se la puede enviar a una base de datos que tenga protocolo PHP.

La carga de la programación irá directamente en la tarjeta de desarrollo Raspberry para de esta manera dejar con mayor libertad el espacio en la nube y las bases de datos que se utilizan, es aquí donde se programa por medio del *software* Python las diversas funciones que se realiza para poder visualizar los datos en una HTML. Dichas funciones como los llamados de los datos, envío a lugares del destino, consultas y permisos de entradas de usuarios entran en esta programación. La última instancia de este tratamiento de datos es la generación de la alarma fitosanitaria que se envía por medio de un correo electrónico. Los rangos de presencia de la plaga pueden ser: desfavorable, relativamente favorable, favorable y desfavorable; definidos por medio de lógica difusa a través de variables lingüísticas.

3.4 Protocolo de Comunicación

La comunicación que se tiene entre el *datalogger*, los sensores y las bases de datos usa dos tipos de protocolos que son: el PHP y el serial (RS-232). El protocolo PHP es el que se encarga de realizar el reconocimiento y el envío de datos.

Un bloque de programación es el encargado de realizar la conexión de la Raspberry con el *datalogger*. En primera instancia se realiza la importación de cinco librerías:

- *import serial*. Librería encargada de activar el puerto serie “pyserial”.
- *import time*. Librería encargada de agregar un tiempo *sleep* en los bloques de programación.
- *import threading*. Librería encargada de los hilos de programación
- *import json*. Librería encargada de formato de reconocimiento JSON (JavaScript Object Notation)
- *import requests*. Librería encargada de activar los métodos HTTP que son: *put*, *get*, *post*, *patch*, *delete*.

El siguiente paso son las declaraciones de las clases con las que se desarrollará la programación, son:

- *class SerialPortManager*
- *class DataManager*

En la clase “*SerialPortManager*” se la utiliza para el manejo de la comunicación serial donde se inicia la conexión mediante el puerto serial RS-232 del registrador de datos con el puerto '/dev/ttyUSB0' de la Raspberry. Parte fundamental en este proceso, es la limpieza de los *buffers* tanto de entrada como de salida que se lo hace mediante el comando *self.port.flushInput()*. También en esta clase existe un método para transcribir la cadena de datos del *datalogger* que viene en formato “MetMan10” y transformarlo a un formato solicitado por la base de datos, que es JSON.

Existe, también, un método para poder leer en la tarjeta de programación la información que está en formato de cadena. La clase “*DataManager*” es la que define el manejo de los datos donde su principal función es la conversión de la cadena MetMan10 a JSON. La diferencia entre estos dos tipos de cadena son su manera en la que se recolecta o envía los datos como se detalla en la tabla 10-3.

Tabla 3-10-3: Tipos de cadenas en los que se almacena los datos recolectados

Cadena	MetMan10	JSON
Formato de Datos	(S;x;D: 12345 12 12;T: 1 100;TAAVG1H: 123.4)	{"S": "x", "D": "12345 12 12", "T": "1 100"}

Fuente: D' Ortiz 2018

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Todos estos métodos y clases que se encuentran en el bloque de programación se los corre mediante hilos, mismos que se configuran de manera que se ejecute el proceso configurado como *daemon* cuando se encuentre energizada la tarjeta de programación, cuyo código de ejecución es “*serialthread.daemon = True*”. El método con el que se envía la cadena de valores transformada hacia la base de datos se lo hace mediante una sentencia “TRY”. Esta decodifica la cadena y la envía a la dirección web donde se encuentra la base de datos enlazada al internet. Esta sentencia se mantiene activa hasta encontrar los valores especificados. La creación de un bucle en las líneas de código ayuda a que se corra el hilo principal donde se encuentra todo este bloque completo de programación encargada de que la Raspberry se comunique con el *datalogger*.

Es importante tener en el bucle un cierre mediante comandos a manera de emergencia para cerrarlo en cualquier momento. En la figura 17-3 se observa el diagrama de flujo que detalla paso

a paso el bloque de programación donde se realiza la comunicación mediante el protocolo HTTP, en el Anexo B se puede visualizar las líneas de código encargadas de este proceso.

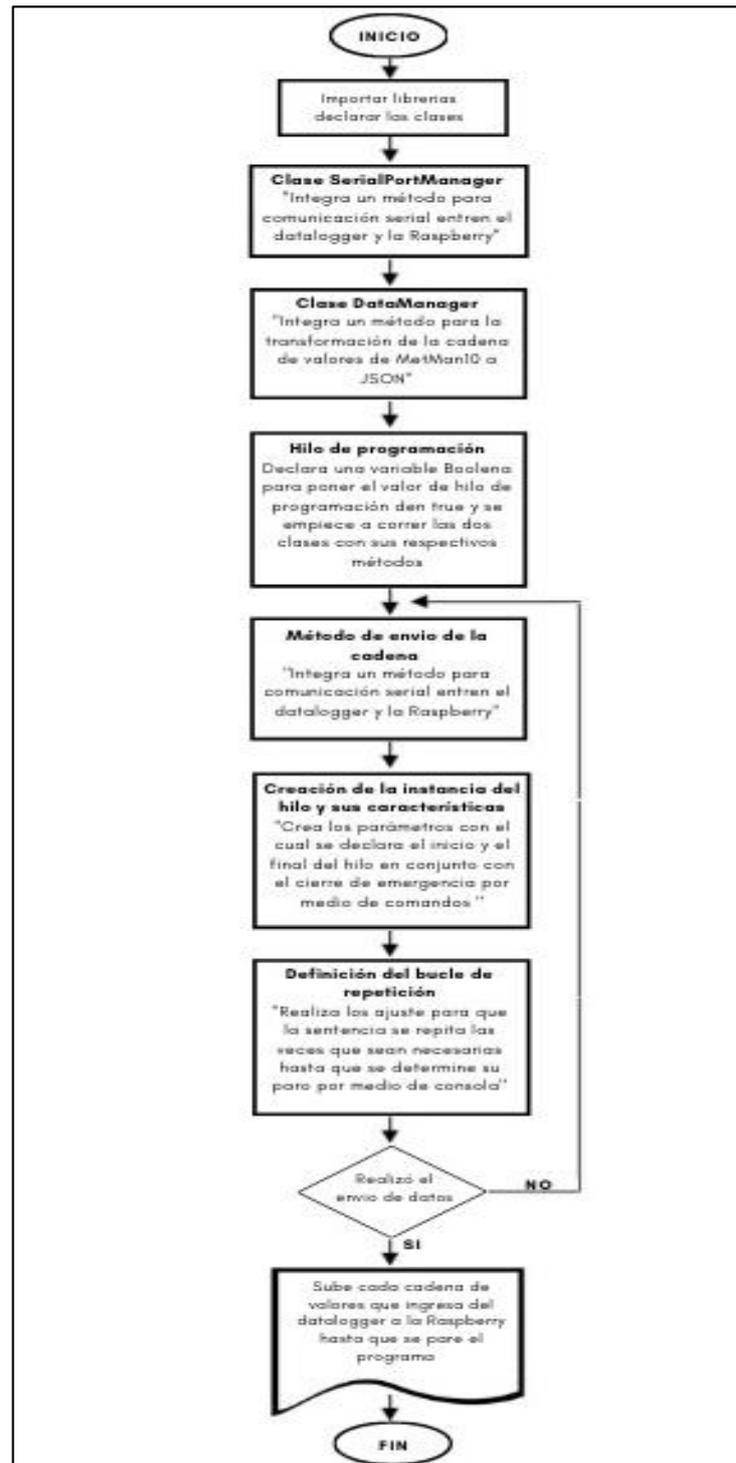


Figura 17-3: Diagrama de flujo del bloque de programación para la comunicación.

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

3.5 Subida de datos a la nube

Los datos una vez que se obtuvieron por cada uno de los sensores y almacenados en la memoria interna del *datalogger*, se los procede a realizar el envío en primera instancia por medio de la comunicación RS-232 a la Raspberry. Esta recibe la cadena de datos enviado y por medio de programación en Python y el uso de las librerías de comunicación se realiza un código, donde se acopla la información recibida del registrador de datos a un lenguaje que pueda entender la base de datos, en este caso será el código abierto PHP.

El uso del código PHP ayuda a que se pueda almacenar de forma correcta en la base de datos, como se habló anteriormente, es crucial transformar la cadena de valores enviada por el *datalogger* a formato de texto JSON. Este es reconocido sin ninguna dificultad y almacenado por cualquier espacio en la nube.

El tiempo de subida de los datos se puede modificar según la necesidad del usuario, por lo tanto, es concluyente que a cada envío de datos que se realice se debe enviar con la fecha y hora del mismo para que al momento de solicitar la información no exista confusiones ya que no habrá ningún dato con la misma fecha de entrega.

En primera instancia se utiliza un espacio en la nube gratis proporcionado por “000WebHost” que se usó para primeras configuraciones y pruebas. Posteriormente, se accedió al servidor web con el que cuenta el PATFA. Este posee características similares al espacio gratuito con el que se trabajó inicialmente.

El código que realiza la conexión con el espacio a la nube está integrado al bloque de programación que se detalló en el punto de conexión entre dispositivos en la sección de protocolo de comunicación.

3.6 Base de Datos

El acceso a la base de datos que se está utilizando para las configuraciones y pruebas, se lo realiza por medio de un usuario y una contraseña que asegure que los datos subidos tendrán confidencialidad. Al momento de acceder a este espacio en la nube del sitio web “000WebHost” se debe configurar el tipo de almacenamiento que se debe tener, las contraseñas y los correos en donde se enviará la información. En este espacio es, también, donde se carga la programación de envío y recepción de datos por parte de la Raspberry, por este motivo es importante que se tenga un acceso constante al internet para evitar pérdidas de datos.

El almacenamiento de los datos se lo realiza por medio de los protocolos que usa “000WebHost” que tiene dos espacios diferentes. El primero es donde se almacena cada cadena de valores enviada en un espacio diferente de almacenamiento que tendrá un número único y seguirá aumentando según el número de datos; el segundo, se encarga de asignar un espacio de almacenamiento al usuario que está enviando los datos, de esta manera se asegura que los datos vienen de una fuente confiable y no se ha logrado vulnerar la programación encargada del envío. El bloque de programación que realiza el ingreso de los datos que se encuentra en la tarjeta de desarrollo se lo realiza mediante código abierto PHP. Como inicio del código se detalla las credenciales para ingresar a la base de datos, ingresando el nombre del servicio, el nombre de usuario, la contraseña y la identificación de la base de datos.

Posteriormente, se realiza la llamada a la cadena JSON ya codificada mediante la sentencia “GET” donde se debe extraer de la cadena el día, la hora y la fecha en el formato “DATETIME”. El siguiente paso es crear la conexión con los parámetros descritos anteriormente, también se adiciona un mensaje que indique si la conexión fue exitosa o, si no es el caso, un mensaje con conexión errónea.

En la base de datos se ubican dos espacios diferentes donde se ingresa la información obtenida: “sensores” y “usuarios”. El espacio “sensores” tiene una fila con tres columnas que son: “id”, “fecha” y “cadena” con los datos enviados. Si se cumple satisfactoriamente la subida de datos se envía un mensaje "New record created successfully" y de lo contrario si el ingreso es fallido se remite "Error: " indicando el número de la fila ingresado incorrectamente.

El espacio “usuarios” es el encargado de registrar los correos que se usan para enviar la alarma fitosanitaria, este espacio tiene una configuración similar al anterior donde por cada fila tiene tres columnas: “id”, “fecha” y “correo”.

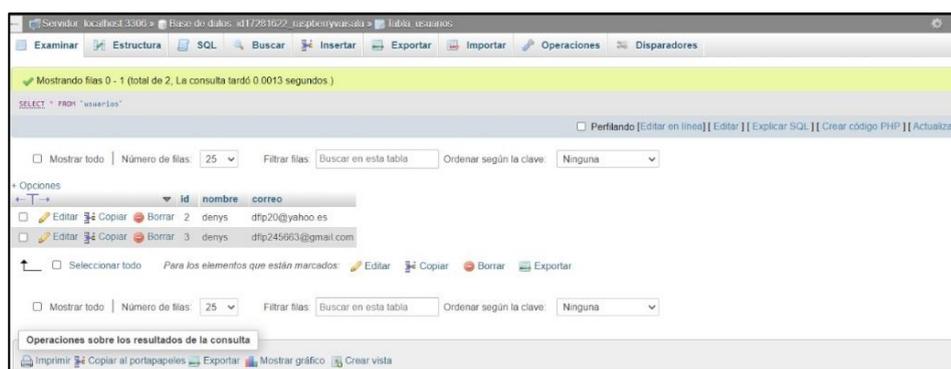


Figura 18-3: Base de datos donde se ingresa los datos de los usuarios.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

La creación de usuarios y contraseñas es fundamental para poder proteger la integridad de los datos es por esto que se ha visto prudente crear solamente acceso a la adquisición de los datos a personas o usuarios limitados, en este caso se tiene un usuario y un administrador, pero de ser necesario se puede crear más usuarios para que tengan a la mano estas reseñas.



id	FECHA	CADENA
1	2019-11-26	["S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H...
2	2019-11-26	["S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H...
3	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"232900","TAAVG1H...
4	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233000","TAAVG1H...
5	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233000","TAAVG1H...
6	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233100","TAAVG1H...
7	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233100","TAAVG1H...
8	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233200","TAAVG1H...
9	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233300","TAAVG1H...
10	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233300","TAAVG1H...
11	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233400","TAAVG1H...
12	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233500","TAAVG1H...
13	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233500","TAAVG1H...
14	2000-03-23	["S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233500","TAAVG1H...
15	2021-09-08	["S":"ORELLANA","D":"210908","T":"051000","TAAVG1H...

Figura 19-3: Base de datos donde se ingresa la cadena información recolectado por EMA.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

La forma en que el usuario accederá a los datos se lo hace por medio de una interfaz, esta está configurada y estructurada por medio de código que se lo almacena en la misma base de datos.

3.7 Visualización de Datos

Acceder a los datos de manera remota es una parte fundamental del trabajo de titulación que se está realizando, por ello se realiza una interfaz por medio de HTML. La ventaja que se tiene con HTML es poder acoplar los datos almacenados en la nube de una manera fácil y rápida ya que estos están regidos por el código PHP que es compatible para el desarrollo web.

La distribución de los datos se lo realiza por medio de llamadas directas desde el HTML a la base de datos, para ello se ha buscado una manera de seleccionar los datos que sean de interés. Por esta razón, el usuario puede seleccionar un rango de días para solicitar la información.

Después de haber definido el rango de días por medio de programación el HTML, ingresa a la base de datos y selecciona la fecha del primer dato hasta la fecha del siguiente dato que ha sido

ingresado por el usuario, pasando toda esta información a una tabla de visualización en la página web creada.

Figura 20-3: Interfaz 1. Ingreso para seleccionar los días de consulta de datos.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Una vez que el usuario tenga toda la información que se ha solicitado tendrá una opción de descargar estos datos y poder manejarlos a voluntad, de esta forma se puede tener un respaldo de la información que se ha solicitado y no de toda la información almacenada en la base de datos.

ID	FECHA S	D	T	TAAVGH	TAMAXIH	TAMINIH	RHAUGH	RHAUGH	RHMAXIH	RHMINIH	PRSUMIH	PAAVGH	PAMAXIH	PAMINIH	SRGLOAVGH	
2	2019-11-26 10:16:33	ORELLANA	191126	101633	14.02	14.7	14.6	65	65	65	65	0.0	726.9	726.9	726.9	0
3	2019-11-26 10:16:33	ORELLANA	191126	101633	14.02	14.7	14.6	65	65	65	65	0.0	726.9	726.9	726.9	0

Descargar

Figura 21-3: Interfaz 2. Información recolectada por los sensores.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Los valores que ingresan a la interfaz dos son recolectados por los sensores de la estación meteorológica, la tabla 11-3 detalla cada uno de los parámetros con la recolección de los datos.

Tabla 3-11-3: Nombres de las señales que ingresan en el *software* MAWS Lizard

Descripción	Nombre de la Señal
Alimentación	MEAS
Sensor de presión	PA
Sensor de Humedad HMP-155	RH
Sensor de Lluvia TR525M	PR
Batería	MEAS
Sensor de radiación difusa SR05	SR
Sensor de radiación global SR05	SR
Reset	MEAS
Sensor de temperatura HMP-155	TA
Sensor de temperatura de tierra SDI TDR-315H	MSG
Sensor de dirección y velocidad de viento SDI 86000	MSG

Fuente: MAWS Lizard

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Después de ingresar los datos se procede a realizar cálculos con los mismos mediante configuraciones en el *software* MAWS Lizard. Los valores máximos, mínimos y promedios son calculados de las variables que lo necesitan. En la tabla 12-3 se detalla los nombres que llevan en la interfaz.

Tabla 3-12-3: Variables calculadas e ingresadas a la tabla de la interfaz 2.

Descripción	Nombre en la Tabla
Numero de fila de la cadena en la base de datos	ID
Fecha y hora de la subida	FECHA
Nombre de la estación	S
Día	D
Hora	T
Valor promedio de la temperatura	TAAVG1H
Valor máximo de la temperatura	TAMAX1H
Valor mínimo de la temperatura	TAMIN1H
Valor promedio de la humedad	RHAVG1H
Valor máximo de la humedad	RHMAX1H

Valor mínimo de la humedad	RHMIN1H
Sumatoria de valores de la precipitación	PRSUM1H
Valor promedio de la presión	PAAVG1H
Valor máximo de la presión	PAMAX1H
Valor mínimo de la presión	PAMIN1H
Valor promedio de la radiación global	SRGLOAVG1H
Valor máximo de la radiación global	SRGLOMAX1H
Valor mínimo de la radiación global	SRGLOMIN1H
Sumatoria de valores de la radiación global	SRGLOSUM1H
Valor promedio de la radiación diferencial	SRDIFAVG1H
Valor máximo de la radiación diferencial	SRDIFMAX1H
Valor mínimo de la radiación diferencial	SRDIFMIN1H
Sumatoria de valores de la radiación diferencial	SRDIFSUM1H
Dirección del viento	WD1HA
Datos de ráfaga de viento	WD1HX
Velocidad del viento	WGD1HX
Datos de ráfaga del viento	WGDH
Datos de ráfaga de viento	WDGM
Velocidad del viento	WS1HA
Velocidad del viento	WS1HM
Datos de ráfaga de viento	WR1H
Voltaje de la Batería	DC

Fuente: INHAMI

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

En el Anexo C se evidencia el código en HTML de las dos interfaces expuestas.

3.8 Diseño del Algoritmo

Seleccionar un algoritmo que sea robusto y cumpla con todas las especificaciones es fundamental para el correcto desarrollo de la alarma fitosanitaria ya que ésta servirá de alerta a los usuarios sobre la presencia de la “monilla” en las plantaciones de cacao.

La implementación del algoritmo radica en dos opciones: redes neuronales y lógica difusa. Las redes neuronales proporcionan un nivel de confiabilidad alto, pero necesita datos históricos para

poder entrenarla, es por esta razón que esta opción se la dejó de lado por no contar los datos históricos de una fuente confiable.

3.8.1 Definición de los parámetros de la plaga

La incidencia de la “monilla” es afectada por diversos factores climáticos, estos contribuyen al crecimiento y a la proliferación de la plaga en las parcelas de cacao. El momento en que la plaga afecta al fruto, puede generar pérdidas del 10% al 90% de la mazorca de cacao.

Los parámetros con mayor incidencia en el desarrollo de la plaga son: la humedad relativa, la temperatura del aire, dirección del viento y la cantidad de lluvia. Estos parámetros en rangos definidos pueden tener un crecimiento muy favorable, favorable, relativamente favorable y desfavorable. La temperatura y la humedad relativa son valores críticos para el desarrollo de la plaga, se obtiene diversos rangos que se detalla en la tabla 13-3:

Tabla 3-13-3: Crecimiento de la plaga con temperatura y humedad relativa.

Favorabilidad de crecimiento	Temperatura	Humedad relativa
Muy Favorable	22-26 °C	85%
Favorable	18-22 °C o 26-30 °C	80%
Relativamente Favorable	18-30 °C	70%-80%
Desfavorable	Por debajo de los 18 °C o por encima de los 30 °C	Por debajo 70%

Fuente: INIAP

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Los datos de la tabla 13-3 se complementan con la dirección de viento que se tenga en ese momento lo que ayudaría a definir la zona donde se podría esparcir las esporas de la plaga y así afectar a más frutos.

Determinar si la existencia de caída de lluvia en la zona es fundamental puesto que si se tiene una película de agua alrededor del cacao la plaga se pegará con mayor facilidad, esto hace que la rapidez de contagio a los demás frutos aumente a diferencia que no existiera esta película de agua. El conjunto de todos estos factores puede ayudar a determinar un algoritmo robusto y de mayor confiabilidad que se aplica a la elaboración de la alarma fitosanitaria. Esta se envía con el rango de incidencia siendo: muy favorable, favorable, relativamente favorable y desfavorable.

3.8.2 Desarrollo del Algoritmo

La lógica difusa brinda diferentes parámetros de ingreso por medio de variables lingüísticas y funciones de membresía que definen reglas para obtener una salida que oscila de 0 a 1 indicando el nivel de respuesta en base a las entradas. Al no necesitar datos históricos y tener definido la caracterización de la plaga se opta por implementar con lógica difusa este algoritmo.

La elaboración del algoritmo se lo realiza en dos instancias:

- Definición de parámetros en el *software* MATLAB
- Transcripción del algoritmo a Python

Definir los parámetros que ingresan a las entradas del algoritmo en base a las características climatológicas que tenga el hábitat de crecimiento de la plaga, se lo hace por medio de la herramienta en MATLAB, *Fuzzy Logic Toolbox*.

Los rangos que trabaja cada una de las funciones se define ingresando tres entradas (“Temperatura”, “Humedad” y “Precipitación”) y una salida (“Alarma”). Las funciones de membresía necesitan ser ingresadas con un tipo de función que describe los valores de las variables lingüísticas que en este caso serán de forma trapezoidal (trapmf), como se detalla en la figura 22-3. Cada una de ellas manejándose en un rango en base a los datos recolectados sobre la caracterización de la plaga.

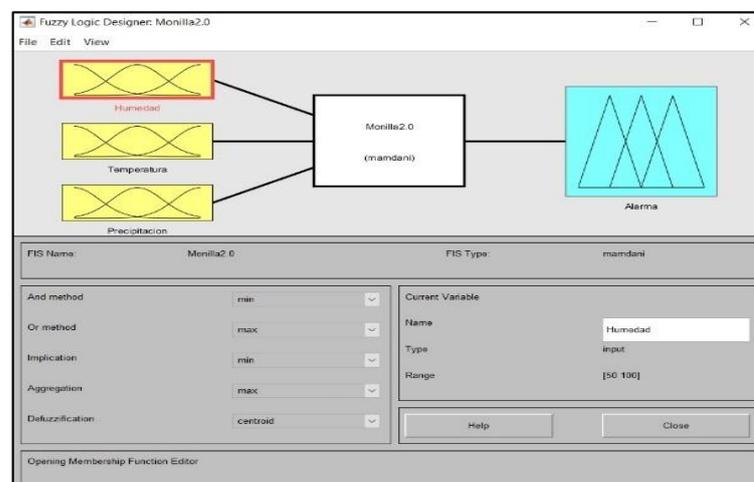


Figura 22-3: Algoritmo implementado mediante FuzzyLogic ToolBox en MATLAB.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Las reglas que describen el acoplamiento de las funciones de membresía ayudan a obtener la salida, mismas que realiza mediante las combinaciones posibles entre todas las entradas. La figura 23-3 describe el entorno en donde se añade las reglas encargadas de caracterizar la salida.

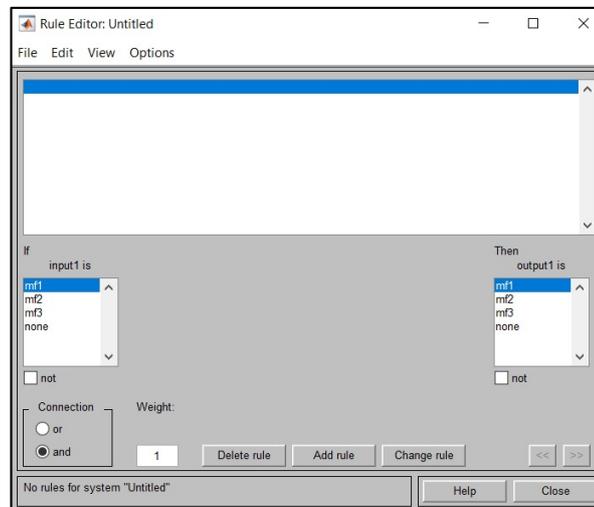


Figura 23-3: Editor de reglas para la lógica difusa en MATLAB.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

El funcionamiento de algoritmo con las entradas, salidas, reglas y visualización de resultados se detallan en los Anexos D.

3.8.3 Implementación del Algoritmo

La selección del algoritmo se la realiza en base al desarrollo y al acople que tiene a la tarjeta de desarrollo Raspberry, donde se obtiene rangos de salida que varían de acuerdo a la tabla 14-3.

Tabla 3-14-3: Parámetros de salida del algoritmo en lógica difusa.

FAVORABILIDAD DE CRECIMIENTO
Muy Favorable
Favorable
Relativamente Favorable
Desfavorable

Fuente: INHAMI

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

La parametrización de las entradas que se realiza de forma gráfica en MATLAB arroja un archivo “. fis” que no es reconocible en lenguaje Python. Por lo tanto, se pasa los parámetros del algoritmo definidos a lenguaje Python. La transcripción de valores desde MATLAB a Python se usó la herramienta “Colab” de *Google*. Como fase inicial se procede a instalar la librería “scikit-fuzzy” que sirve para poder realizar lógica difusa en Python. Después, se importan las librerías con las que se van a trabajar de manera normal. La primera sección de la programación consiste en la definición de los dominios que trabajan cada una de las variables de entrada y la única variable de salida. Se clasifica como: antecedente (entradas) y consecuente (salida).

La ubicación de parámetros se realiza ingresando las etiquetas en donde se desarrolla cada una de las funciones de membresía en base al dominio declarado. La temperatura, la humedad, la precipitación (entradas) y la alarma (salida) tienen sus variables lingüísticas en las que se desarrollan sus parámetros.

Tabla 3-15-3: Definición de las variables lingüísticas de cada función.

Función	Variables Lingüísticas
Temperatura	DesfMin
	FavorableMin
	RelativamenteFav
	MuyFavorable
	FavorableMax
	DesfMax
Humedad	Bajo
	Medio
	Alto
	Muy Alto
Precipitación	Bajo
	Medio
	Alto
	Muy Alto
Alarma	Desfavorable
	RelativamenteFav
	Favorable
	MuyFavorable

Fuente: INIAP

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Las combinaciones de las funciones para obtener la salida se ingresan mediante líneas de código en base a las reglas obtenidas en MATLAB.

Para realizar una prueba de funcionamiento se debe ingresar valores a las tres entradas y mediante comandos se envía al cómputo y visualización de la salida del algoritmo como se observa en la figura 24-3.

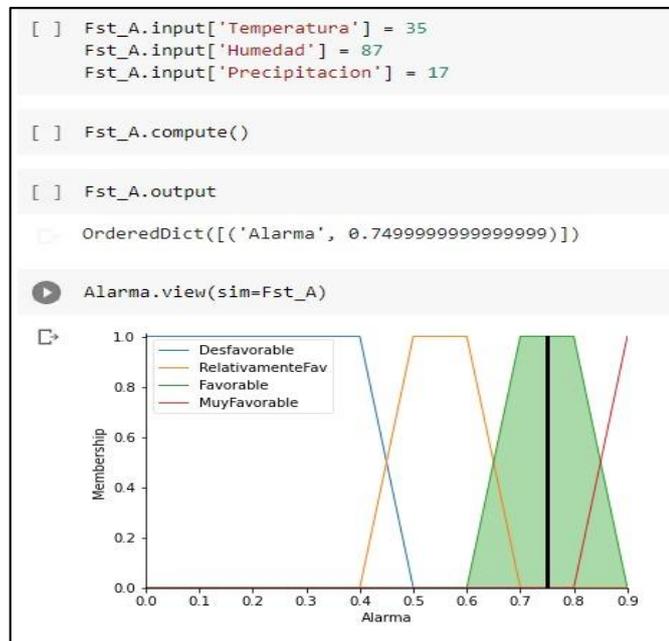


Figura 24-3: Algoritmo transcrito a Python en base a los datos definidos en MATLAB.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

3.9 Elaboración de la Alarma Temprana Fitosanitaria

Los factores que influyen al momento la presencia de la plaga en las plantaciones de cacao se seleccionó anteriormente y se lo aplicó al algoritmo. Este algoritmo envía cuatro respuestas de los rangos de presencia de la “monilla”.

El envío del *mail* se lo realiza por medio de un bloque de programación donde se obtiene como entrada los cuatro factores críticos que actúan sobre el crecimiento de la plaga:

- Temperatura
- Humedad

- Cantidad de lluvia

Al unificar estos valores con la tabla 13-3 se obtiene la nueva tabla 16-3 y se determina la afectación que podría tener las parcelas de cacao en base a la recolección de datos por medio de la estación meteorológica y la aplicación del algoritmo.

Tabla 3-16-3: Favorabilidad del crecimiento de la plaga en base a las variables climatológicas.

Favorabilidad de crecimiento	Temperatura	Humedad relativa	Precipitación
Muy Favorable	22-26 °C	85%	Por encima de 17 mm
Favorable	18-22 °C o 26-30 °C	80%	13-16 mm
Relativamente Favorable	18-30 °C	70%-80%	8-12 mm
Desfavorable	Por debajo de los 18 °C o por encima de los 30 °C	Por debajo 70%	Por debajo de 7 mm

Fuente: INIAP

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

La visualización de todo este conjunto de información se lo hace de tal manera que una persona sin conocimientos avanzados en el tema pueda entenderla y posteriormente usarla de manera favorable.

El bloque de programación encargado de realizar el envío automático del *mail* está desarrollado en PHP. Se define las credenciales de entrada a la base de datos y se verifica su conexión donde se envía un mensaje si la conexión fue exitosa o fallida como en los anteriores casos.

Las cuentas electrónicas a las que se enviará el correo de la alarma temprana fitosanitaria se extraen de la base de datos (“usuarios”). Se extrae los valores recolectados a lo largo del día, separando únicamente las variables de interés (humedad, temperatura y precipitación). Estos valores se ingresan al algoritmo para que arroje un resultado del desarrollo de la plaga en función a los datos recolectados por la EMA.

El mensaje contiene el grado de incidencia que tendría la plaga con los datos diarios recolectados. Dicha información va direccionada a usuarios seleccionados que pueden ser: los productores o dueños de las parcelas de cacao, personal especializado del INIAP o miembros del PATFA.

Esta información se la envía para que se tome acciones para contrarrestar la presencia de la plaga, estos usuarios tomarán las diferentes operaciones pertinentes como pueden ser: fumigaciones, horas preventivas, extracción de frutos enfermos, entre otras.

En el Anexo E se describe el código usado para el envío del correo y el mensaje que llega con este.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Análisis e Interpretación de Resultados

Los procesos, la programación, el algoritmo, la implementación y la comunicación que se desarrollaron en base a los objetivos planteados a este trabajo de titulación arrojaron diversos resultados en base al acople, análisis e interpretación de los mismos. Los resultados se detallan de forma puntual en los siguientes apartados donde se destacan sus características más representativas que hicieron posible alcanzar los objetivos propuestos.

4.1.1 *Condiciones ideales para el desarrollo de la plaga “monilla” en el cacao*

La caracterización de la plaga *Moniliophthora roreri* o “monilla” se realizó en base a fotografías multiespectrales, análisis de cacaos enfermos y toma de referencias espaciales por medio de drones que se realizaron por medio del PATFA. Se tenía acceso a la información porque se realizaron prácticas pre-profesionales en este sitio. También, se realizó trabajo de campo en los aspectos anteriormente mencionados donde se obtuvo información en sus primeras etapas para poder especificar las condiciones ideales donde se desarrolla la plaga. Al ser este un proceso que conlleva un largo tiempo en interpretar los resultados, se vio prudente combinar con investigaciones previas tomando referencia en artículos científicos y *papers* publicados sobre el tema.

La composición de los datos de campo recolectados y el análisis de las referencias bibliográficas sobre la “monilla” se determinó los factores que influyen de manera fundamental en la incidencia de la plaga, siendo:

- Temperatura ambiental
- Humedad relativa
- La precipitación (lluvia)

La temperatura ambiental y la humedad relativa se la hizo referencia en base a Ramírez et al. (2013, pp. 1-3). Esta referencia bibliográfica ayudó a obtener los rangos de presencia de la plaga que se detallan en la tabla 1-4.

La precipitación (lluvia) es un factor que se determinó por medio del análisis de campo en conjunto con los investigadores del proyecto PATFA y tomando referencia de artículos e

investigaciones previamente realizadas. Se evidenció que existían referencias de mayor presencia de la plaga si existía un recubrimiento de agua o capa de lluvia alrededor de las mazorcas de cacao, es por esta razón que la precipitación es un factor de alto impacto para la proliferación de la “monilla”.

La caracterización de los diferentes rangos de las variables críticas donde se desarrolla la plaga se las ingresaron en gráficas para su mejor comprensión. La temperatura se la clasificó de menor a mayor en los siguientes rangos:

- Desfavorable
- Relativamente favorable
- Favorable
- Muy favorable

Los grados centígrados que describen una condición climática se describen en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Favorabilidad de crecimiento de la plaga en base a la temperatura.

Favorabilidad de crecimiento	Temperatura
Muy Favorable	22-26 °C
Favorable	18-22 °C o 26-30 °C
Relativamente Favorable	18-30 °C
Desfavorable	Por debajo de los 18 °C o por encima de los 30 °C

Fuente: INIAP

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

En el gráfico 1-4, se visualiza los datos de la temperatura de una forma más clara y entendible para su mejor comprensión. También, se observa una temperatura desfavorable para el desarrollo de la plaga que está por debajo de los 18 °C y por encima de los 30 °C lo que significa que en este rango la posibilidad del desarrollo de la “monilla” sea poco probable.

La incidencia de la plaga sube de prioridad al encontrarse entre los 18 °C y los 30 °C. las condiciones de presencia aumentan al estar de 18 °C a 22 °C o también de 26 °C a 30 °C, sin embargo la temperatura óptima en la que se puede desarrollar e iniciar en sus primeras fases la plaga es de 22 °C a 26°C.

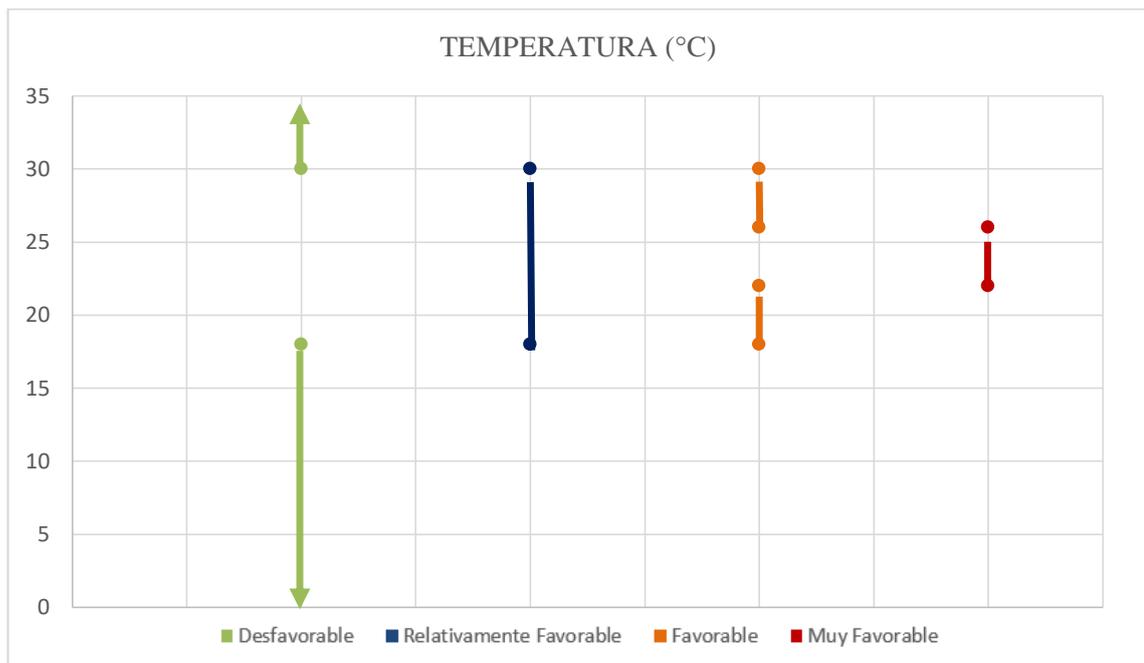


Gráfico 1-4: Rangos de temperatura donde se desarrolla la plaga *moniliophthora roreri*.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Al igual que en la temperatura, se muestra en la tabla 2-4 la incidencia del patógeno con respecto a diversos rangos de humedad, que va de menor a mayor:

- Desfavorable
- Relativamente favorable
- Favorable
- Muy favorable

Tabla 4-2-4: Incidencia de la humedad relativa para la presencia de la plaga.

Favorabilidad de crecimiento	Humedad Relativa
Muy Favorable	85%
Favorable	80%
Relativamente Favorable	70% -80%
Desfavorable	Por debajo 70%

Fuente: INIAP

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

La visualización de los rangos de presencia de la plaga con respecto a la humedad relativa se detalla en el gráfico 2-4.

El rango desfavorable para la humedad relativa tiene que ver a la incidencia de la plaga está por debajo del 70% donde la plaga tendrá casi nula posibilidad de desarrollo. Del 70% al 80% su favorabilidad aumenta para que se presente la “monilla”. Del 80% al 84% su incidencia es favorable y con rangos superiores al 85% su condición climática es idónea para que la plaga crezca.

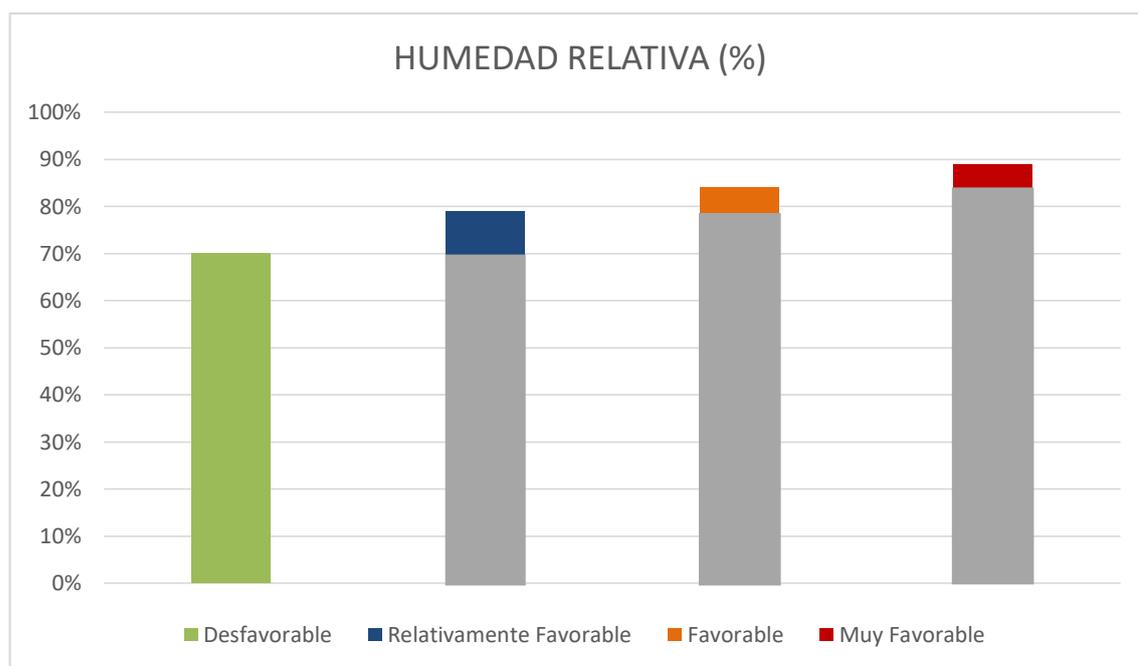


Gráfico 2-4: Porcentaje de humedad donde se desarrolla la plaga *moniliophthora roreri*.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Se ha seleccionado de la misma manera los rangos de presencia de la plaga en base a la precipitación, se hace énfasis en esta variable por la razón de que la “monilla” se desarrolla más al tener una capa de agua alrededor del fruto. En la tabla 3-4 se detalla los rangos que rigen a la precipitación en base a la presencia de la plaga.

Tabla 3-4: Rangos de presencia de la plaga en base a los niveles de precipitación.

Favorabilidad de crecimiento	Precipitación
Muy Favorable	Por arriba de 17 mm
Favorable	13-16 mm
Relativamente Favorable	8-12 mm

Desfavorable	Por debajo de 7 mm
--------------	--------------------

Fuente: INIAP

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

En el gráfico 3-4 se visualiza de una forma más didáctica los niveles de precipitación para el desarrollo de la plaga. Con niveles menores a los 7mm, las condiciones de aparición son mínimas. De 8mm-12mm aumenta la presencia de la plaga a relativamente favorable. Para los rangos de 13 mm a 16 mm se debe poner énfasis en el cuidado de los cultivos. El rango más alto donde el hábitat de la plaga es propicia está por encima de los 17mm donde se deberá tomar acciones de carácter urgente.

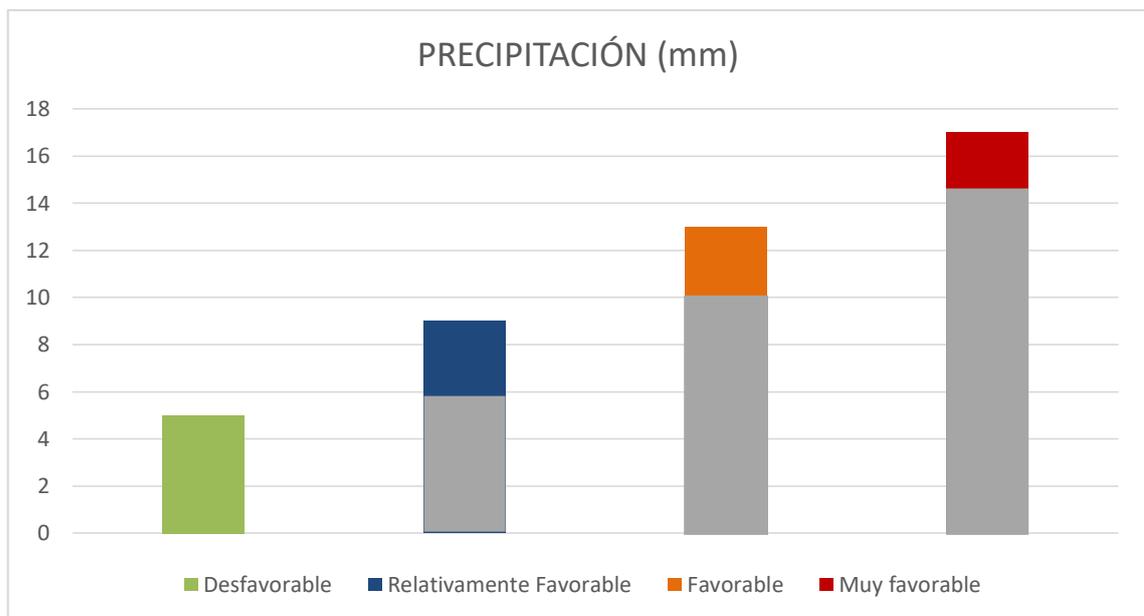


Gráfico 3-4: Intervalos de lluvia que describen el crecimiento de la plaga *moniliophthora roreri*

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

4.1.2 Diseño establecido de la Estación Meteorológica

La distribución de los elementos que constituyen la estación meteorológica se divide en la distribución de los sensores y la caja eléctrica de distribución, los dos elementos de diseño constituyen la estación meteorológica funcional.

La distribución de los sensores se lo realiza dependiendo del uso que cada uno de estos tengan, estos se dividen en dos grupos según su ubicación: sensores terrestres y sensores aéreos.

4.1.2.1 *Sensores Terrestres*

La ubicación de estos sensores se la realizó en base a su función y ubicación para su correcta labor y debida recolección de datos. Dos de los sensores empleados en la estación meteorológica necesitaron un soporte que los eleve del suelo 1.2 metros, por esta razón se escogió un tubo metálico de 2 pulgadas para que sirva de soporte como se observa en el Anexo F.

La distribución de los sensores con respecto a la torre que tiene acoplada debió ser de mínimo 3 metros para que los datos recolectados por los sensores no tengan interferencia ni contaminación.

4.1.2.2 *Sensores Aéreos*

Para la estación meteorológica se tiene dos sensores que fueron acoplados al poste principal por encima de la caja eléctrica de distribución. El sensor ultrasónico fue integrado a 5 metros y el sensor de temperatura ambiental a 2 metros con respecto a la caja, como se observa en la Anexo F.

4.1.2.3 *Caja y elementos de distribución*

La protección y la integridad de la mayoría de elementos que constituyen la estación fue uno de los aspectos para haber tomado diversas medidas de seguridad, como lo fue la incorporación de un gabinete metálico cuyas dimensiones son 40x40x20 centímetros con una protección IP 67. En su interior fue ubicado el *datalogger*, la tarjeta de programación Raspberry, el regulador de voltaje y la batería de carga de solar con sus instalaciones eléctricas del panel solar, como se puede ver en la Anexo F.

Uno de los sensores fue acoplado en forma de módulo internamente en el *datalogger*, es el caso del módulo barométrico R2850152. Se aprecia en la figura 1-4.



Figura 1-4: Módulo barométrico integrado en el *datalogger*.

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

Para el direccionamiento de los cables de los sensores se realizó acoples para una mejor distribución y ahorro de recursos. Primero se usó una división en forma de T, donde por el lado derecho se encuentra los sensores que van incorporados al poste por encima de la caja; y por el lado izquierdo, fueron los sensores que están alejados a 3 metros de la caja con su soporte al ras del suelo.

4.1.3 Diseño del algoritmo que determinó el crecimiento de la plaga

La presencia y el crecimiento de la plaga están determinados por diversos factores de estos se centró en los factores climatológicos. Esta información se la obtuvo mediante los sensores que están integrados a la estación meteorológica, es aquí que la información es tratada, almacenada y enviada hacia la base de datos de donde se extrajo los elementos climatológicos que constituyen la presencia y el crecimiento de la plaga para poder realizar un algoritmo que ayudó a determinar las características propicias para la plaga se desarrolle.

Cuando la información ya se encuentra almacenada en la base de datos se extrae las variables de temperatura, humedad relativa y precipitación. Este conjunto de variables se lo ingresó en el algoritmo seleccionado, mismo que tiene cuatro entradas y una salida que según su incremento determinó si la aparición de la “monilla” es:

- Desfavorable
- Relativamente desfavorable
- Favorable
- Muy favorable

De todos los factores críticos que determinan la aparición de la “monilla” en las mazorcas de cacao se determinó una tabla única donde se integran todos los valores dando como resultado los rangos de funcionamiento del algoritmo. La tabla 16-3 muestra los rangos de crecimiento de la plaga según las variables climatológicas extraídas por la EMA.

El diseño del algoritmo tuvo dos etapas: la definición de los parámetros en el *software* MATLAB y la transcripción del código a lenguaje Python. El algoritmo ya funcional se lo ingresó a un bloque de programación, donde, con las credenciales de acceso a la base de datos del proyecto PATFA, se solicita las variables críticas que definen el desarrollo de la “monilla” para integrarlo al bloque de programación. Aquí es donde, en base los parámetros definidos, el algoritmo envía rangos de respuesta de 0 a 1 los mismos que se detallan en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Rangos de la alarma fitosanitaria en base al algoritmo desarrollado.

Índice de presencia de la “monilla”	Rangos Alarma Fitosanitaria
Desfavorable	Menor a 0.4
Relativamente Favorable	0.4 a 0.6
Favorable	0.6 a 0.8
Muy favorable	Mayor a 0.8

Fuente: INIAP

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

El *mail* fue enviado con la respuesta del algoritmo ingresando como entradas los datos recolectados de un día. En este es donde se indica el índice de presencia de la plaga para que a los destinatarios del mensaje (productores, entidades reguladoras) tomen acciones pertinentes al caso si es que lo necesita y de esta manera evitar la propagación de la plaga. En el Anexo E se muestra un ejemplo de llegada de la alarma fitosanitaria a un correo.

4.1.4 Implementar un sistema de comunicación para el envío de información que influyen en crecimiento de la plaga

El envío de la información recolectada por la EMA fue realizado de una manera clara y segura, puesto que se tomó en cuenta las complejidades que existirían si surgían pérdidas de datos. Por esta razón, la comunicación se realizó en dos etapas diferentes:

- Comunicación entre dispositivos
- Comunicación con la nube

La comunicación entre el *datalogger* y la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4 se realizó de forma física por medio de una comunicación serial usando los puertos RS-232 y USB respectivamente. El registrador de datos VAISALA, al tener puertos directos de comunicación que son el TXD, RXD y GND, permitió esta comunicación. A estos se les integró hilos de comunicación y se los soldó al cable RS-232 con salida USB. En la figura 2-4 se muestra el cable encargado de la comunicación serial entre dispositivos.



Figura 2-4: Cable de conexión USB a RS-232.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

La salida USB se conectó a la Raspberry donde previamente se declaró el puerto para el correcto funcionamiento con la activación del *driver* de comunicación con RS-232.

Definidos los parámetros anteriores, se desarrolló un bloque de programación que recibe la cadena de valores recolectada por la EMA. También, se la transformó a una cadena que sea compatible con la base de datos (JSON) y se almacenó momentáneamente en la Raspberry.

El Anexo B contiene los bloques de programación empleados para la comunicación entre los dispositivos. La comunicación con la nube tiene dos aspectos: subida y solicitud de datos. La subida de datos se realizó desde la Raspberry hacia la base de datos del PATFA que tiene acceso a internet. Un bloque de programación en lenguaje PHP fue el encargado de la subida de cada cadena de valores recolectada por el *datalogger* y enviada a la tarjeta de desarrollo. Esta cadena de valores fue enviada con un lapso de 10 minutos, dado este tiempo se envía una nueva cadena de valores recolectado por los sensores de la estación meteorológica.

En la base de datos previamente se creó dos espacios diferentes, un espacio con el nombre de “sensores” para el ingreso de la cadena de información recolectada por los sensores, y otra llamada “usuarios” donde se ingresa los correos electrónicos para el envío de información. El espacio sensores posee 3 columnas por cada cadena que son: “id”, “fecha” y “cadena”. La columna “id” se coloca el número de cada cadena ingresada, en “fecha” se ingresa los datos de fecha y hora que recolecto la cadena de información, cabe recalcar que estos datos se extraen de la misma cadena para evitar errores en las consultas de información y se los cambia al formato “DateTime” que es reconocible para la base de datos.

En la figura 3-4 se muestra los datos que se ingresaron de manera satisfactoria al servidor con la base de datos, realizando pruebas de cambio de fecha en la cadena de valores donde se comprobó que se extrae los datos de fecha y hora de la misma cadena.

ID	Fecha	Cadena
2	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
3	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"232900","TAAVG1H":...
4	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233000","TAAVG1H":...
5	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233000","TAAVG1H":...
6	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233100","TAAVG1H":...
7	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233100","TAAVG1H":...
8	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233200","TAAVG1H":...
9	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233300","TAAVG1H":...
10	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233300","TAAVG1H":...
11	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233400","TAAVG1H":...
12	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233500","TAAVG1H":...
13	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233500","TAAVG1H":...
14	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233500","TAAVG1H":...
15	2021-09-08	("S":"ORELLANA","D":"210908","T":"051000","TAAVG1H":...
16	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
17	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
18	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
19	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
20	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
21	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
22	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
23	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...
24	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H":...

Figura 3-4: Base de datos “sensores” con cadenas de información. (Pruebas).

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

La solicitud de datos es un proceso que se realizó posteriormente que la base de datos tenga información almacenada. Este proceso se llevó a cabo por medio de código redactado en PHP, donde se realizó una interfaz en dos instancias, una que seleccionaba el espacio de fechas en las que se solicitara la información de la base de datos “sensores”, y la parte de visualización de la tabla donde se ingresa los datos solicitados con una opción de descarga de la tabla para que sean manejados a voluntad.

En el Anexo A se detalla todo el proceso del código que hizo las consultas a la base de datos y su interfaz gráfica donde se pudo observar de manera más didáctica los datos solicitados por los usuarios.

Se visualiza en la Anexo C la subida de los datos a la nube con sus respectivos espacios y ubicación de las cadenas recibidas del *datalogger* a la Raspberry, de ésta al servidor web y las solicitudes de información al servidor web.

4.1.5 Validación del sistema de recolección de datos

La forma en que se evaluó los resultados de la alarma temprana fitosanitaria fue la comparación de la información enviada a través del correo con los datos recolectados en la base de datos e ingresando de manera manual en el algoritmo implementado en MATLAB.

La herramienta “Fuzzy Logic” se tiene la opción de modificar los valores de las entradas para obtener diferentes rangos en su única salida, por esta razón se analiza en primera instancia que rango de presencia de la plaga es enviada por medio del *mail*. Posteriormente, según el rango enviado, se accede a la base de datos y se solicita la información de todo el día para cotejar las variables que ingresan al algoritmo.

La información obtenida de los datos del día y del rango de favorabilidad de crecimiento enviadas, se procedió a hacer pruebas en el “Fuzzy Logic Toolbox” de MATLAB al igual que en “Colab” de Python, ambos tienen cargado el algoritmo desarrollado.

La intención de haber ingresado estos valores a estas herramientas de lógica difusa, fue el comprobar el correcto funcionamiento del algoritmo alojado en la Raspberry. Se realizó mediante el ingreso de las mismas variables que se recolectó en la base de datos y fueron enviadas a las entradas de los programas para verificar si la respuesta era la misma.

En la figura 4-4 se reconoce las diversas respuestas que se recolectan con las entradas del algoritmo desarrollado mediante las diferentes herramientas utilizadas, y del algoritmo implementado para que la alarma se envíe mediante *mail*.



Figura 4-4: Mail correspondiente a la alarma fitosanitaria con valores.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Para poder corroborar esos datos, en la figura 5-4, se observa cómo se ingresó los mismos valores recolectados por parte de los sensores en un día que se envió por la alarma fitosanitaria. Con esto podemos comprobar si el resultado que se visualiza en el correo corresponde a los valores enviados por el algoritmo son valederos.

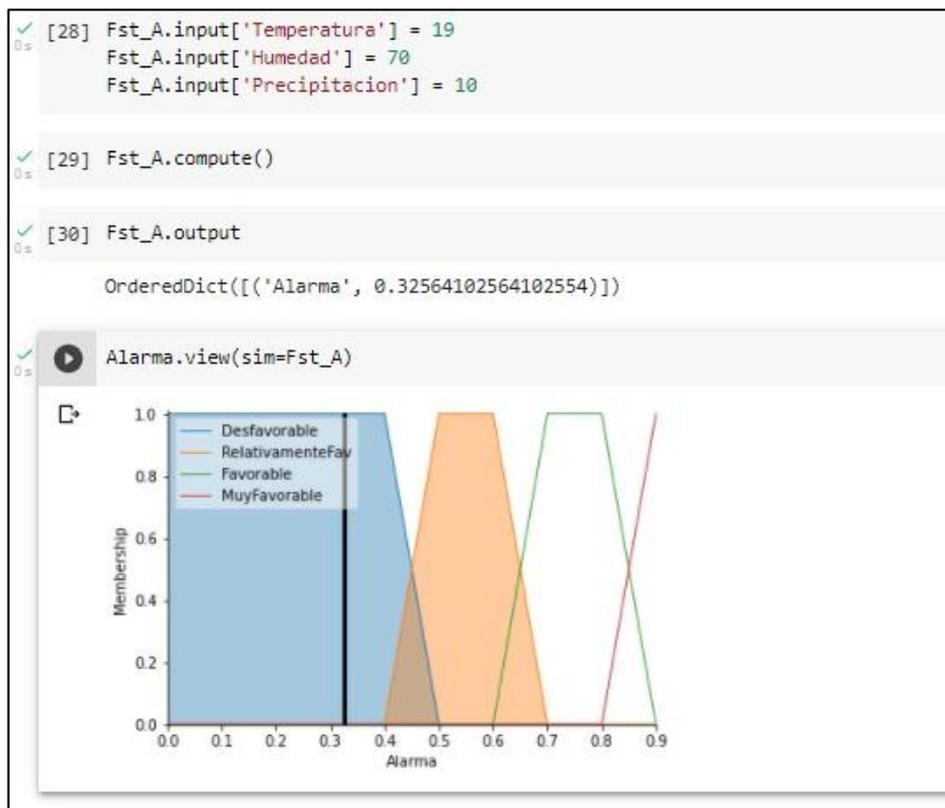


Figura 5-4: Datos ingresados al algoritmo en base a lógica difusa.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Otra manera de verificar los datos almacenados fue mediante la comparación con un dispositivo de similares características que recolecta datos de variables similares y confiables.

Este instrumento es el recolector de datos meteorológicos portátil “Kestrel 5000”, mismo que se trasladó a la ubicación de la EMA para recolectar datos para posteriormente comparar y verificar con los datos en la nube.

El proceso de verificación y comprobación de datos se muestra en el Anexo H, donde se detalla datos almacenados en la nube, datos visualizados por la interfaz gráfica y datos recolectados por el dispositivo Kestrel 5000.

4.1.6 Análisis de errores en la medición de los datos recolectados

Parte fundamental del sistema de recolección de datos es comprobar la veracidad de los mismos, por esta razón en esta sección se analizará los errores que se producen al adquirir las diversas variables. Una herramienta de gran ayuda es la estadística descriptiva ya que en esta se presta diversas variables con sus respectivas fórmulas.

Destaca en esta herramienta de comprobación de datos: el cálculo de la incertidumbre y el error. Para realizar el cálculo de la incertidumbre de los datos y el error, se debe manejar una base de datos de referencia tomados de un instrumento patrón, donde se mida las mismas variables y en el tiempo que se recolectaron las variables de la estación meteorológica implementada.

Las características del instrumento patrón se muestran en la figura 6-4.

Operating Range	-40° to 60°C (-40° to 140°F); no remote communications for battery voltage less than 3.9 V DC
Smart Sensor Connectors	10
Smart Sensor Network Cable Length	100 m (328 ft) maximum
Smart Sensor Data Channels	Maximum of 15 (some smart sensors use more than one data channel; see sensor manual for details)
Module Slots	2
Logging Rate	1 second (RX3001 and RX3002) or 1 minute (RX3003 and RX3004) to 18 hours
Time Accuracy	±8 seconds per month in 0° to 40°C (32°F to 104°F) range; ±30 seconds per month in -40° to 60°C (-40° to 140°F) range
Battery Type/Power Source	4 Volt, 10 AHr, rechargeable sealed lead-acid; external power required using one of these options: AC power adapter (AC-U30), solar panel (SOLAR-xW), or external power source 5 V DC to 17 V DC with external DC power cable (CABLE-RX-PWR)
Rechargeable Battery Service Life	Typical 3–5 years when operated in the temperature range -20° to 40°C (-4°F to 104°F); operation outside this range will reduce the battery service life
Memory	32 MB, 2 million measurements, continuous logging
Alarm Notification Latency	Logging interval plus 2–4 minutes, typical
Enclosure Access	Hinged door secured by two latches with eyelets for use with user-supplied padlocks
LCD	LCD is visible from 0° to 50°C (32° to 122°F); the LCD may react slowly or go blank in temperatures outside this range
Materials	Outer enclosure: Polycarbonate/PBT blend with stainless steel hinge pins and brass inserts; Inner enclosure: Polycarbonate; Gaskets: Silicone rubber; Cable channel: EPDM rubber; Cable opening cover: Aluminum with ABS plastic thumb screws; U-Bolts: Steel with zinc dichromate finish
Size	18.6 x 18.1 x 11.8 cm (7.3 x 7.1 x 4.7 in.); see diagrams on next page
Weight	2.2 kg (4.85 lb)
Mounting	3.8 cm (1.5 inch) mast or wall mount
Environmental Rating	Weatherproof enclosure, NEMA 4X (requires proper installation of cable channel system)
CE	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU)
FC	RX3002: FCC ID R68XPICOW, IC ID 3867A-XPICOW RX3003: FCC ID QIPEHS6, IC ID 7830A-EHS6; approved for use in Taiwan and Japan RX3004: FCC ID QIPPLS62-W, IC ID:7830A-PLS62W
Wireless Radio	RX3003: GSM/GPRS/EDGE: Quad band 850/900/1800/1900 MHz, UMTS/HSPA+: Five band 800/850/900/1900/2100 MHz RX3004: GSM/GPRS/EDGE: Quad band 850/900/1800/1900 MHz UMTS/HSPA+: Seven band 800/850/900/1800/1900/2100 MHz LTE: Twelve Band 700/800/850/900/1800/1900/2100/2600 MHz
Antenna	RX3003: Penta band RX3004: 4G LTE

Figura 6-4: Hoja de datos de la estación meteorológica HOBO RX3000.

Fuente: Onset Computer Corporation

Los datos patrones o de comparación con los que se trabajó fueron proporcionados por una de las estaciones anexadas al proyecto de investigación PATFA. Estos datos fueron de ayuda fundamental, puesto que, acceder a información meteorológica del sector es complicado.

A continuación, se proporciona las diversas fórmulas usadas en los cálculos de las variables que se han tomado desde inicios de diciembre del 2021 hasta finales de enero del 2022. Las principales variables que se ha tomado en cuenta son las que infieren en el algoritmo de la alarma fitosanitaria.

Temperatura

Tabla 5-4. Variables estadísticas de la temperatura promedio.

TEMPERATURA PROMEDIO	DATOS
Media	26.0166401
Error típico	0.057829342
Mediana	24.9
Moda	23.4
Desviación estándar	3.238959435
Varianza de la muestra	10.49085822
Curtosis	-0.813349461
Coefficiente de asimetría	0.650219043
Rango	13.1
Mínimo	20.7
Máximo	33.8
Suma	81614.2
Cuenta	3137

Fuente: Proyecto PATFA

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Análisis

$$\text{Incertidumbre} = 0.07^\circ$$

$$\text{Max} = 60^\circ$$

$$\text{Incertidumbre debido al patrón} = 0.07 * 60$$

(1.4)

$$= 4.2^\circ\text{C}$$

- Desviación típica con un nivel de confianza de 95%

$$\lambda_p = \frac{4.2}{2} = 2.1$$

(2.4)

- Desviación del patrón en condiciones ambientales

$$\lambda_{tmp} = \frac{1}{3} (0.12) * 2 * 60 = 4.8$$

(3.4)

- Intervalos de confianza

$$\text{intervalo de confianza} = \tilde{x} \pm z * \frac{\tilde{V}}{\sqrt{n}} \quad (4.4)$$

$$= 26.01664 + 2 * \frac{10.490858}{\sqrt{3138}}$$

$$= 26.39119419$$

\tilde{x} = media

z = k de confianza

\tilde{V} = deriv. Stad de

n = número de muestras

- Factor multiplicador para el número de muestras

$$= \frac{1}{2} * \frac{\text{inter. Confi}}{\text{número de muestras}} * 100 \quad (5.4)$$

$$= \frac{1}{2} * \frac{26.39119419}{3138} * 100$$

$$= 0.420597863$$

- Desviación Máxima

$$\text{Desv Max} = 0.095 * \% \text{incertidumbre} \quad (6.4)$$

$$\text{Desv Max} = 0.0399484297$$

- Desviación Media

$$\text{Desv. Media} = \text{Des. Max}/2 \quad (7.4)$$

$$\text{Desv. Media} = 0.01997421485$$

- Varianza experimental

$$V_{ex} = \sqrt{2.1^2 + (0.07)^2 + (0.01997421485)^2} \quad (8.4)$$

$$V_{ex} = 2.1012261281$$

- Incertidumbre

$$u = 2 * \frac{2.1012261281}{60} * 100 = 7.00420469 \% \quad (9.4)$$

En el gráfico 4-4 y el gráfico 5-4 describen el comportamiento de la temperatura a lo largo de los meses de diciembre 2021 y enero 2022 respectivamente, se muestra los valores recolectados y el valor de la media de la temperatura de cada uno de sus meses para tener una referencia del dato a lo largo de los meses donde se presentan las mediciones.

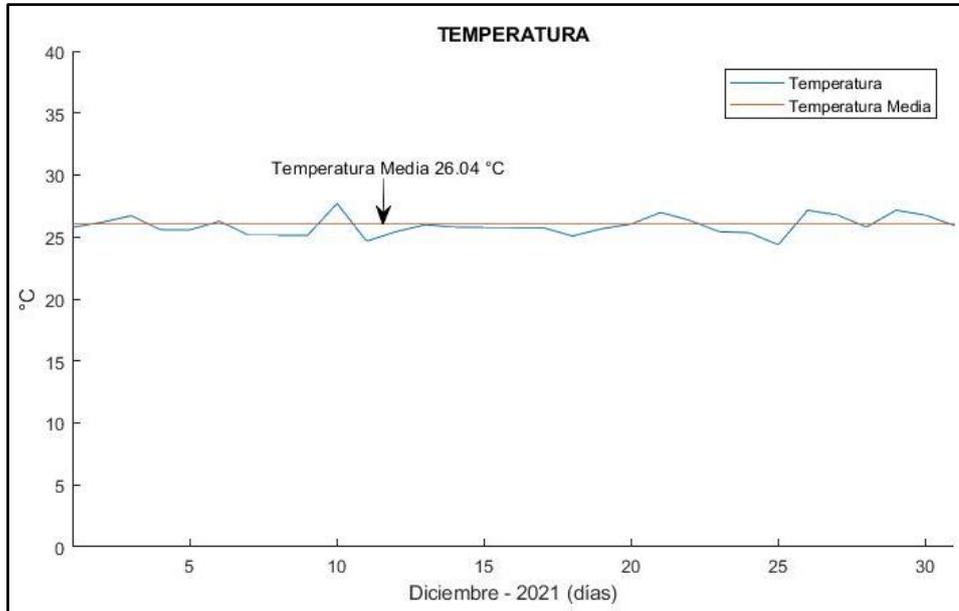


Gráfico 4-4. Gráfica de la temperatura de Diciembre 2021.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

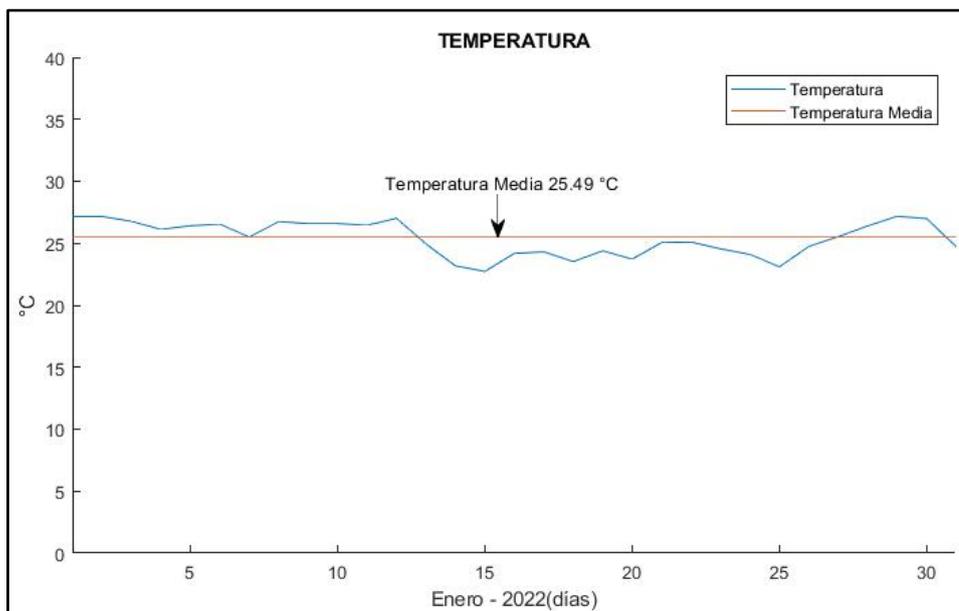


Gráfico 5-4. Gráfica de la temperatura de Enero 2022.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Precipitación

Tabla 6-4. Variables estadísticas de la precipitación.

<i>PRECIPITACIÓN</i>	<i>DATOS</i>
Media	2.564870896
Error típico	0.073753827
Mediana	0
Moda	0
Desviación estándar	4.130872782
Varianza de la muestra	17.06410994
Curtosis	1.346182557
Coficiente de asimetría	1.572203026
Rango	16
Mínimo	0
Máximo	16
Suma	8046
Cuenta	3137

Fuente: Proyecto PATFA

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Análisis

$$Incertidumbre = 0.2 \text{ mm/min}$$

$$Max = 11.66 \text{ mm/min}$$

$$Incertidumbre \text{ debido al patrón} = 0.2 * 11.66$$

$$Incertidumbre \text{ debido al patrón} = 2.334 \text{ mm/min}$$

- Desviación típica con un nivel de confianza de 95%

$$\lambda_p = \frac{2.334}{2} = 1.1667$$

- Desviación del patrón en condiciones ambientales

$$\lambda_{tmp} = \frac{1}{3} (0.7) * 2 * 11.66 = 0.5441334$$

$$\text{intervalo de confianza} = \bar{x} \pm z * \frac{\tilde{V}}{\sqrt{n}}$$

$$\text{intervalo de confianza} = 2.564870896 + 2 * \frac{17.06410994}{\sqrt{3138}}$$

$$\text{intervalo de confianza} = 3.174109152$$

\bar{x} = media

z = k de confianza

\tilde{V} = *derv. Stad de*

$n = \text{número de muestras}$

- Factor multiplicador para el número de muestras

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} * \frac{\text{inter. Confi}}{\text{número de muestras}} * 100 \\ &= 5.057535297 * 10e - 4 \end{aligned}$$

- Desviación Máxima

$$\begin{aligned} \text{Desv Max} &= 0.095 * \% \text{incertidumbre} \\ \text{Desv Max} &= 4.804658532 * 10e - 5 \end{aligned}$$

- Desviación Media

$$\begin{aligned} \text{Desv. Media} &= \frac{\text{Des. Max}}{2} \\ \text{Desv. Media} &= 2.402324266 * 10e - 5 \end{aligned}$$

- Varianza experimental

$$\begin{aligned} V_{ex} &= \sqrt{(1.1667)^2 + (0.2)^2 + (2.402324266 * 10e - 5)^2} \\ V_{ex} &= 1.183718248 \end{aligned}$$

- Incertidumbre

$$u = 2 * \frac{1.183718248}{11.66} * 100 = 20.30391506 \%$$

En el gráfico 6-4 y el gráfico 7-4 describen el comportamiento de la precipitación a lo largo de los meses de diciembre 2021 y enero 2022 respectivamente, se muestra los valores recolectados y el valor de la media de la temperatura de cada uno de sus meses.

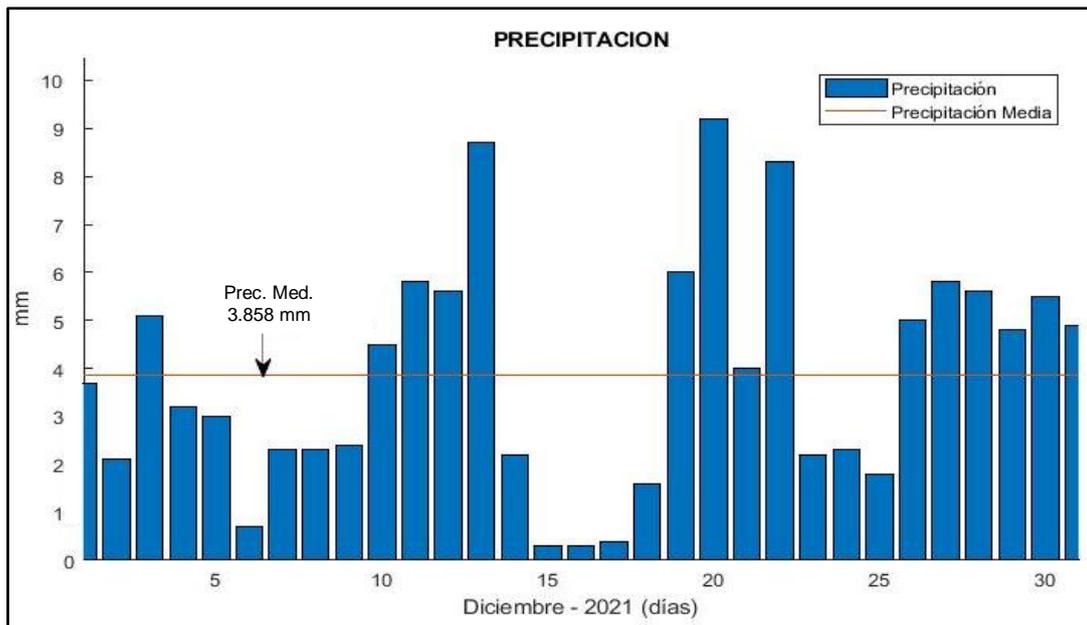


Gráfico 6-4. Gráfica de la precipitación de Diciembre 2021.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

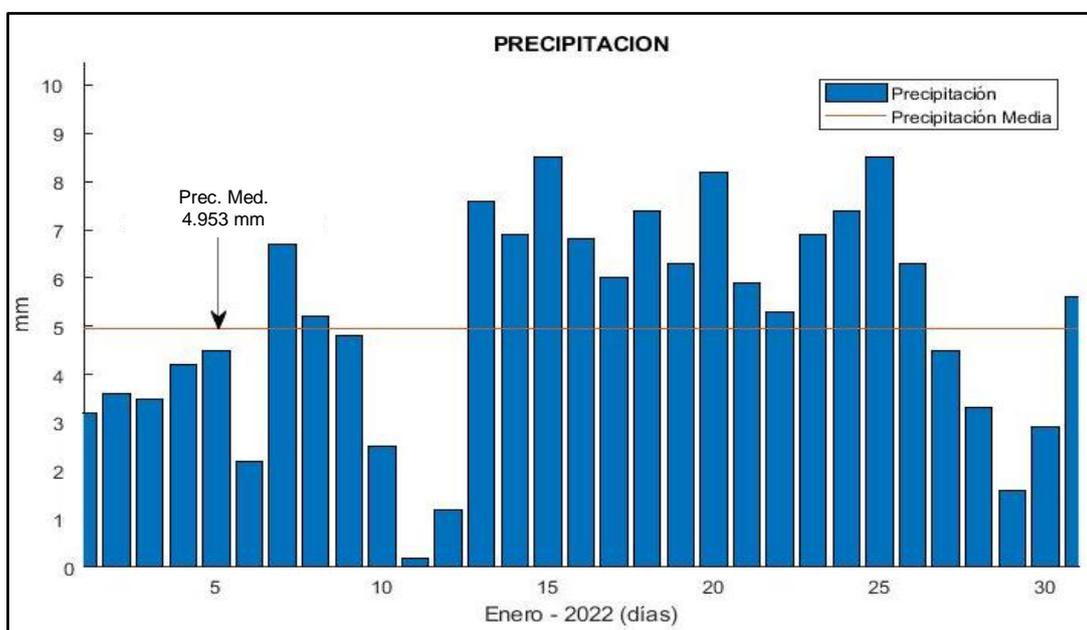


Gráfico 7-4. Gráfica de la precipitación de Enero 2022.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Humedad

Tabla 7-4. Variables estadísticas de la humedad.

<i>HUMEDAD PROMEDIO</i>	<i>DATOS</i>
Media	86.52821167
Error típico	0.268534965

Mediana	95
Moda	99
Desviación estándar	15.04035551
Varianza de la muestra	226.2122938
Curtosis	-0.273740741
Coefficiente de asimetría	-1.041283144
Rango	56
Mínimo	43
Máximo	99
Suma	271439
Cuenta	3137

Fuente: Proyecto PATFA

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Análisis

$$\text{Incertidumbre} = 0.01^\circ$$

$$\text{Max} = 100\% = 100$$

$$\text{Incertidumbre debido al patrón} = 0.01 * 100$$

$$\text{Incertidumbre debido al patrón} = 1$$

- Desviación típica con un nivel de confianza de 95%

$$\lambda_p = \frac{1}{2} = 0.5$$

- Desviación del patrón en condiciones ambientales

$$\lambda_{tmp} = \frac{1}{3} (0.022) * 2 * 100 = 1.4667$$

- Intervalo de confianza

$$\text{intervalo de confianza} = \tilde{x} \pm z * \frac{\tilde{V}}{\sqrt{n}}$$

$$\text{intervalo de confianza} = 86.529 + 2 * \frac{15.94}{\sqrt{3138}}$$

$$\text{intervalo de confianza} = 87.0649716$$

\tilde{x} = media

z = k de confianza

\tilde{V} = deriv. Stad de

n = número de muestras

- Factor multiplicador para el número de muestras

$$= \frac{1}{2} * \frac{\text{inter. Confi}}{\text{número de muestras}} * 100$$

$$= 1.38726851$$

- Desviación Máxima

$$\text{Desv Max} = 0.095 * \% \text{incertidumbre}$$

$$\text{Desv Max} = 0.1317905$$

- Desviación Media

$$\text{Desv. Media} = \frac{\text{Des. Max}}{2}$$

$$\text{Desv. Media} = 0.0658952$$

- Varianza experimental

$$V_{ex} = \sqrt{(0.5)^2 + (0.01)^2 + (0.0658952)^2}$$

$$V_{ex} = 0.5044 \%RH$$

- Incertidumbre

$$u = 2 * \frac{0.5044}{100} * 100 = 1.008845 \%$$

En el gráfico 8-4 y el gráfico 9-4 describen el comportamiento de la humedad a lo largo de los meses de diciembre 2021 y enero 2022 respectivamente, se muestra los valores recolectados y el valor de la media de la temperatura de cada uno de sus meses para tener una referencia del dato a lo largo de los meses donde se presentan las mediciones recolectadas.

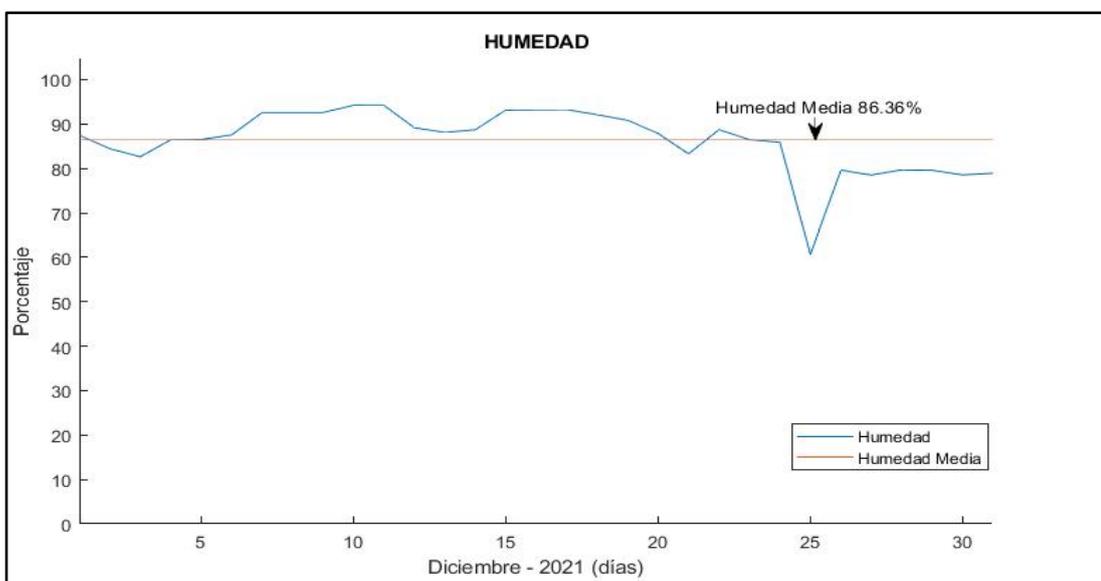


Gráfico 8-4. Gráfica de la humedad de Diciembre 2021.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

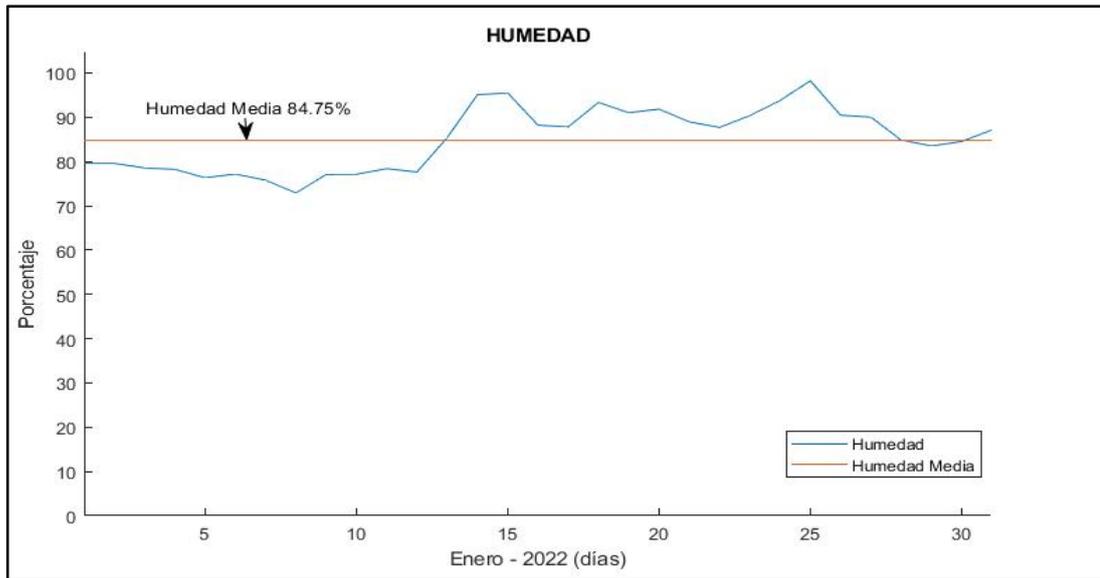


Gráfico 9-4. Gráfica de la humedad de Enero 2022.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Climograma

Realizar un gráfico donde se represente dos variables sobre un mismo sistema de coordenadas proporciona una manera muy amplia de la comprensión del comportamiento de dos variables características del clima de determinado lugar, en este caso para la elaboración del climograma se ha tomado se trabajó con las temperaturas y las precipitaciones presentadas en los meses de diciembre del 2021 y enero del 2022 que se recolectaron por parte de la estación meteorológica automática.

En la gráfica 10-4 se muestra el climograma del mes de diciembre del año 2021 detallando también los valores medios de la temperatura y de la humedad.

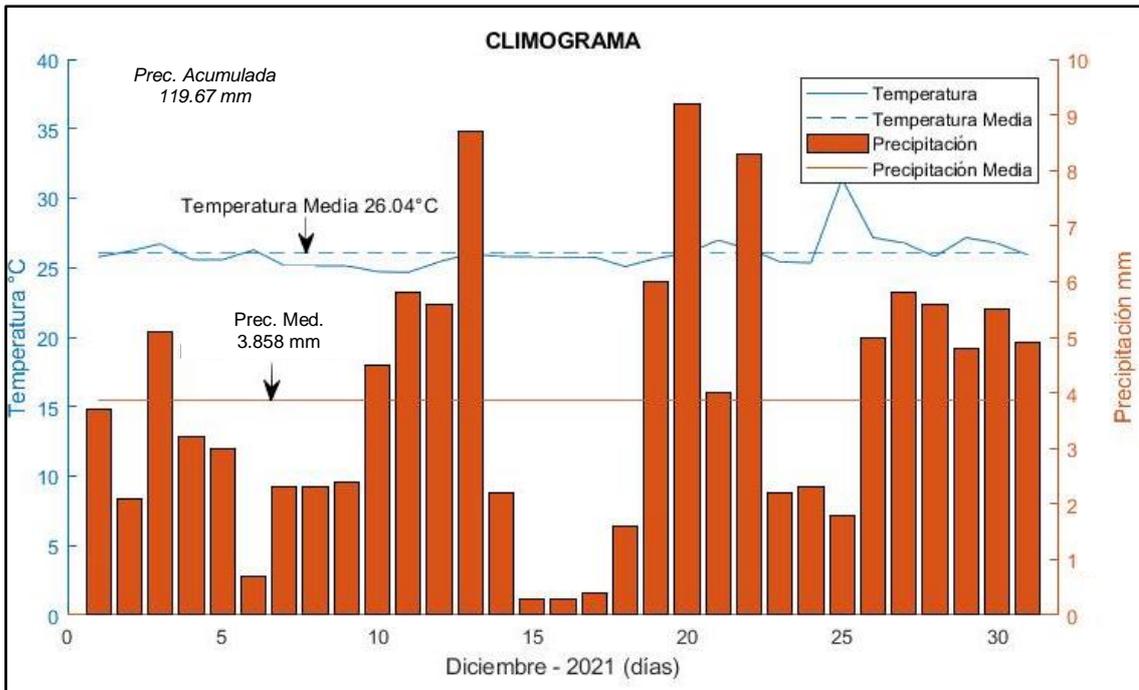


Gráfico 10-4. Climograma del mes de Diciembre del 2021.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

En la gráfica 11-4 se muestra el climograma del mes de enero del 2022 detallando también los valores medios de la temperatura y de la humedad.

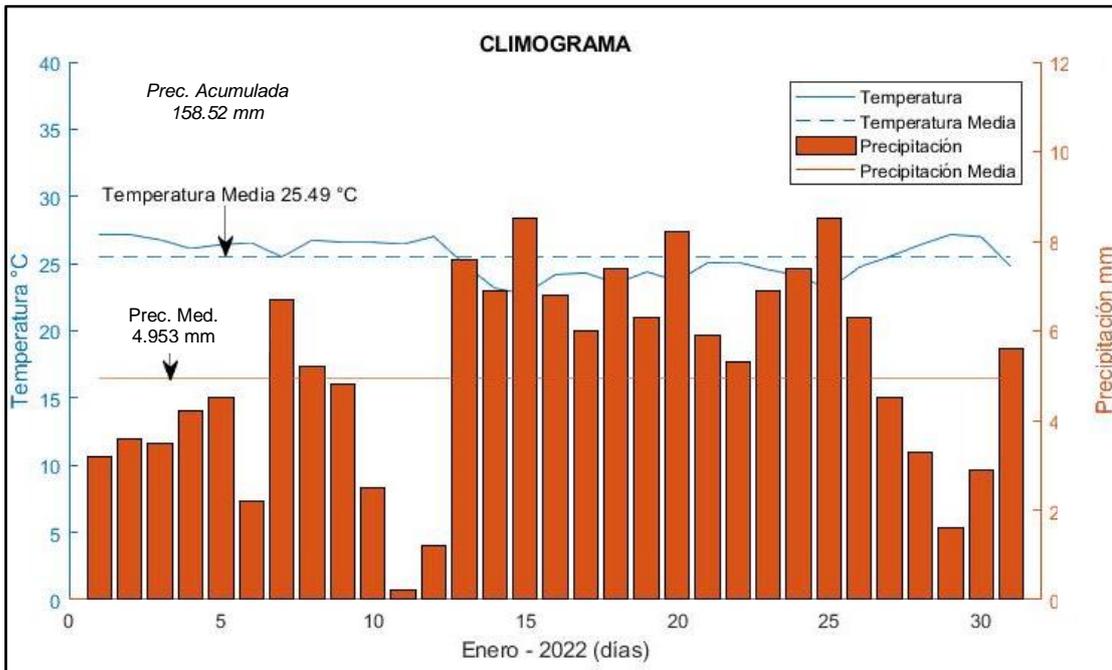


Gráfico 11-4. Climograma del mes de Enero del 2022.

Realizado por: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Después de haber detallado de una manera clara y concisa los valores recolectados por la estación meteorológica automática evalúa de la misma manera la incidencia de la plaga en los respectivos valores medios de los meses que se ha analizado para sacar una presencia del patógeno en las plantaciones de cacao aledañas al sitio. En la figura 7-4 muestra los valores del mes de diciembre.

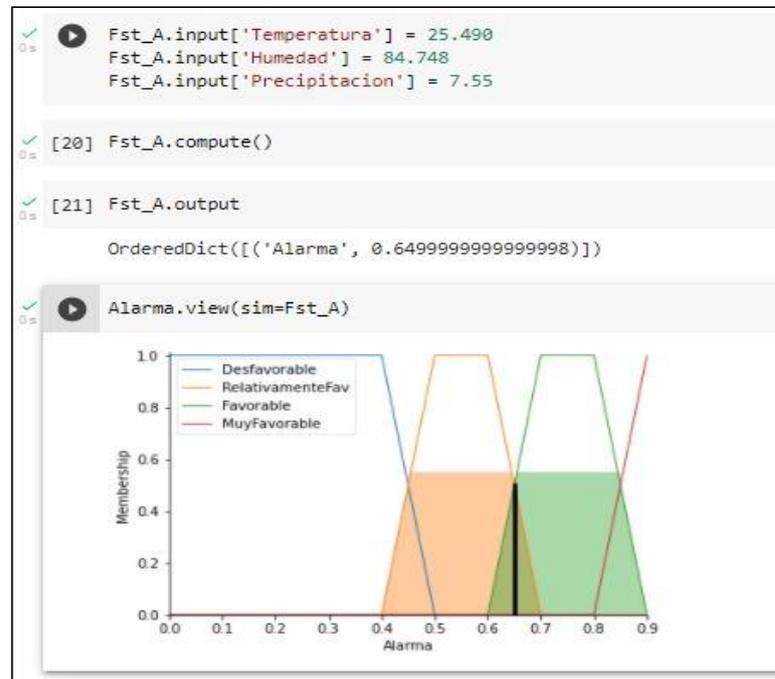


Figura 7-4: Presencia de la plaga en el mes de diciembre del 2021

Fuente: Cevallos A.; Granizo C. 2021

Los valores del algoritmo que analiza la presencia de la plaga para el mes de enero del 2022 son los mostrados en la figura 8-4.

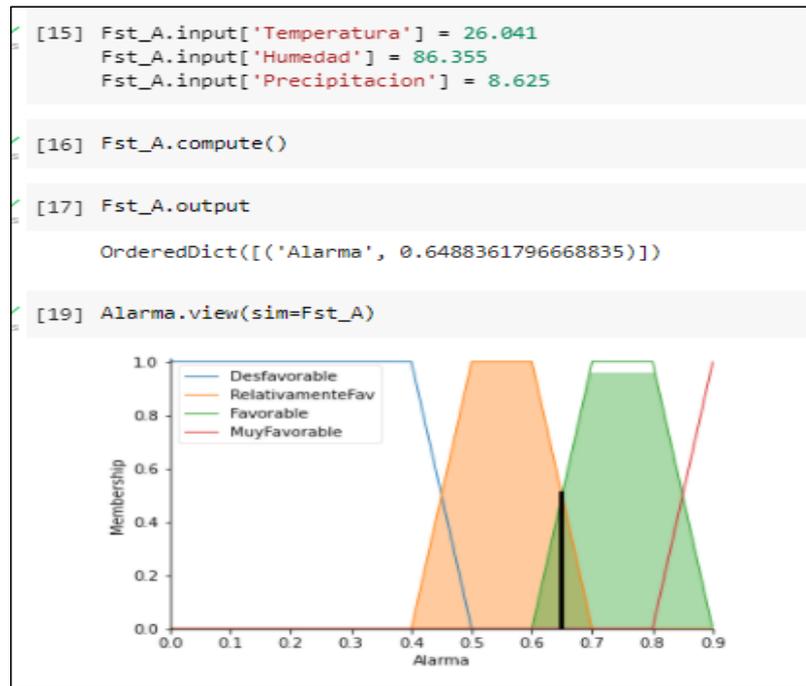


Figura 8-4: Presencia de la plaga en el mes de Enero del 2022

Fuente: Cevallos A.; Granizo C. 2021

CONCLUSIONES

Se determinó los rangos en los que prolifera la plaga *Moniliophthora roreri* en función del trabajo de campo que se realizó en conjunto con la información recopilada de fuentes bibliográficas, donde se concluye que los rangos climatológicos más propicios para que el patógeno se desarrolle son de una temperatura de 22 °C a 26 °C, la humedad superior al 85% y la precipitación con niveles superiores a los 17mm por día, como se detalla en la tabla 16-3, siendo esta última la variable más determinante para la presencia de la “monilla”.

Se estableció el diseño más propicio para la estación meteorológica donde se integró todos los elementos que la constituyen, como es la recolección de la información por parte del *datalogger*, su comunicación con la nube realizada por medio de la Raspberry Pi 4 y el sistema de alimentación eléctrica encargada de la batería en conjunto con el regulador de voltaje. Buscando las seguridades de todos los elementos del caso, se integró un gabinete metálico para los elementos más sensibles y para las conexiones de los cables de los sensores se los enterró con manguera de apantallamiento para evitar pérdidas de datos.

Con los datos obtenidos de la caracterización de la plaga, se determinó el algoritmo siguiendo los lineamientos de la lógica difusa, en donde, se determinó los parámetros de incidencia y sus niveles de favorabilidad de cada variable crítica. Se ingresó a las entradas del algoritmo los valores recolectados por la estación meteorológica de los rangos de temperatura, humedad y precipitación para emitir un correo diario y que este envíe el valor de la salida que determina el rango de favorabilidad de crecimiento de la “monilla”.

Para el envío de los datos recolectados por la EMA, se implementó una comunicación en dos instancias, la primera fue la comunicación serial RS-232 entre el *datalogger* y la Raspberry Pi 4, esta tarjeta de programación conectada a internet. La segunda instancia se la implementó con la tarjeta de desarrollo, donde se envió a la base de datos la información recolectada por medio de bloque de comunicación en lenguaje Python a través de internet para que sea almacenada y, posteriormente, pueda ser consultada en cualquier momento.

Se validó el sistema de alertas tempranas fitosanitarias implementado evaluando los datos que se ingresaron a las entradas del algoritmo alojado en la Raspberry Pi 4. También, se analizó la respuesta de la favorabilidad enviada por medio del *mail*. Los mismos que se ingresó al algoritmo implementado se los ingreso al Fuzzy Logic Toolbox de MATLAB que contiene los mismos parámetros del algoritmo, de esta manera se pudo comparar si la respuesta enviada es la misma.

RECOMENDACIONES

Realizar pruebas de comunicación para verificar si los datos están subiéndose de manera correcta, puesto que en los cables de conexión no poseen un adecuado paso de información o corriente lo que compromete la veracidad de la información transmitida.

En el momento de integrar los elementos dentro del gabinete metálico se los pruebe para comprobar su correcto funcionamiento y dimensionar el tamaño de cada componente ya que, cuando se procede a la ubicación final de los elementos se las realiza por medio de perforaciones sobre la placa metálica que posee y solo se tiene una por gabinete.

Verificar que los sensores a implementar estén funcionando correctamente es fundamental, ya que de esto depende tener una información confiable y su conexión debe ser realizada óptimamente resguardando la integridad de los cables, en el caso puntual del trabajo de titulación se usó una manguera de ½ pulgada con apantallamiento metálico para los cables de los sensores que van enterrados en el suelo hasta llegar al gabinete de conexión, con esto se logra evitar la pérdida de información por señales externas.

Tener a la mano los *datasheets* de los sensores a la hora de la instalación y caracterizar los hilos de los sensores es de vital importancia para evitar problema de lectura de información por parte del registrador de datos o generar daños en los equipos por paso indebido de corriente por puertos diferentes a los que deben estar conectados.

Instalar todas las librerías en la Raspberry Pi 4 para que se corra los bloques de programación encargados de la comunicación, del funcionamiento del algoritmo con lógica difusa y acceso a la base de datos.

Ubicar de manera correcta los sensores con la separación adecuada es fundamental, para que los datos que sean recolectados sin ninguna interferencia asegurándose de esta manera tener información confiable.

BIBLIOGRAFÍA

ORGANIZACIÓN METEOROLOGÍA MUNDIAL. *Guía de instrumentos y métodos de observación.* [En línea]. Geneve 2-Suiza: 7 bis, avenue de la Paix, 2018. [Consulta: 4 de mayo de 2021.]. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10032. 978-92-63-10008-5.

ÁLVAREZ, J.; ET AL. "Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia". [en línea], 2014, (Colombia) 63(4), pp. 388-399 [Consulta: 23 de abril de 2021]. ISSN 0120-2812. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169932435011.pdf>. 0120-2812.

ARISTIZÁBAL, A.; ET AL. "Medición y evaluación de parámetros meteorológicos para el centro de Bogotá, Colombia". Dialnet [en línea], 2012 (Colombia) 2(1), pp. 15-16 [Consulta: 8 de mayo de 2021.]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5085368.pdf&ved=2ahUKEwjBoeapstnyAhWESTABHSXXDdcQFnoECAyQAQ&usq=A0vVaw0HqxieLfNW8F2007--ozGb>

BARRIGA, S.; ET AL. "Validación del manejo de la nutrición por sitio específico en una plantación tipo empresarial de cacao CCN-51 (*Theobroma Cacao*), en la zona de Puerto Inca, Cantón Naranjal, provincia del Guayas-Ecuador". [en línea], 2015, pp. 5-7. [Consulta: 30 de abril de 2021]. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2.-Validacion-del-Manejo.pdf>.

CADENA, R. Efecto de insectos plag que afectan la floracion del cacao en el aborto [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera De Ingeniería Agronómica. Milagro-Ecuador. 2020. pp. 14-22. [Consulta: 24 de abril de 2021.]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CADENA%20BURGOS%20RAQUEL%20LEONOR.pdf>.

CAICEDO, C.; ET AL. "Manejo integrado de los principales problemas fitosanitarios del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la Amazonía Ecuatoriana". *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana* [en línea], 2014, (Ecuador) 398(1), p. 199. [Consulta: 30 de abril de 2021]. ISBN: 978-9977-57-623-7. Disponible en:

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5440/1/Manejo%20integrado%20de%20los%20principales%20problemas%20fitosanitarios.pdf>.

CAMPETELLA, C.; ET AL. *Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)*. [en línea]. Buenos Aires- Argentina: Saavedra 789, 2011. [Consulta: 25 de abril de 2021.]. Disponible en: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/C9_Estacion_meteorologicaR.pdf.

CEDEÑO, Á.; ET AL. "Caracterización de *Phytophthora* spp. y aplicación de rizobacterias con potencial en biocontrol de la enfermedad de la mazorca negra en *Theobroma cacao* variedad CCN-51". *Scientia Agropecuaria* [en línea], 11(24), (Venezuela) pp. 1-4 octubre de 2020. [Consulta: 6 de mayo de 2021]. ISSN 2077-9917. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000400503&script=sci_arttext. 2077-9917.

CEVALLOS, M. Uso de bacterias del género *bacillus spp.* en el control de la moniliasis (*moniliophthora roreri*) en el cultivo de cacao. (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. UNIDAD Académica De Ciencias Agropecuarias, Carrera De Ingeniería Agronómica. Machala-Ecuador. 2018. pp. 4-12 [Consulta: 3 de mayo de 2021]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12913/1/DE00005_EXAMENCOMPLEXIVO.pdf.

CHORA, D.; ET AL. "Raspberry Pi y Arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión". *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*. [en línea], 2018, (Ecuador) 2(1), pp. 1-3. [Consulta: 30 de abril de 2021]. ISSN 2550-6730 Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Informaticaysistemas/article/view/1134/993>. 2550-6730.

FERSENTH, L.; ET AL. "Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador". *Revista Ciencia Unemi*. [en línea], 2016, (Ecuador) 9(18), pp. 45-55. [Consulta: 7 de mayo de 2021.] E-ISSN 2528-7737. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663825007.pdf>.

GARZÓN, B.; & RINCÓN, M. Diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica para la medición de variables ambientales. (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea] Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad De Ingeniería. (Bogotá-Colombia). 2017. pp. 8-22 [Consulta: 4 de mayo de 2021.] Disponible en:

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7210/GarzónGuzmánBrianYesid2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

HERNÁNDEZ, J. "Incidencia de la excona de bruja (*crinipellis pernicioso*) sobre el rendimiento de dos agroecosistemas de cacao con diferentes condiciones de manejo". Bioagro [en línea], 2016, (Venezuela) 28(1), pp. 1-4. [Consulta: 5 de mayo de 2021] ISSN 1316-3361 Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612016000100008&script=sci_arttext.

INHAMI . *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. [blog]. 2021. [Consulta: 8 de mayo de 2021.] Disponible en: <https://www.inamhi.gob.ec>.

MATHWORKS, INC. *MATLAB The Language of Technical Computing*. [en línea]. Estados Unidos de América: 24 Prime Park Way, 1997. [Consulta: 5 de mayo de 2021] Disponible en: https://itb.biologie.hu-berlin.de/~kempter/Teaching/2003_SS/gettingstarted.pdf.

MONTALVO, P.; ET AL. "Algoritmo De Lógica Fuzzy Para Sistema De Seguimiento Solar". *ORBIS*. [en línea], 2020, (Ecuador), pp. 18-34 . [Consulta: 5 de mayo de 2021]. ISSN 1856-1594. Disponible en: <https://poseidon01.ssrn.com/delivery.php?ID=6961170210290850871131151000831250920030220590770100671231220721260810910180890011240550450590030550450421241190140230131231010610520890870800110840940070230100161060310260430971131030241081031031130890110700930>.

PANIAGUA, D,; & GONZÁLEZ, I. Diseño, desarrollo e implementación de una plataforma web para la gestión de datos climatológicos, mediante una boya, construida en arduino en el municipio de guataquí cundinamarca para el año 2021 (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea] Universidad Piloto De Colombia Seccional Alto Magdalena, Facultad De Ingeniería, Ingeniería De Sistemas. (Guataquí-Colombia). 2021. pp. 35-45. [Consulta: 7 de mayo de 2021.] Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10417/BoyaApp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

RAMÍREZ, S.; ET AL. "Fundamentos teóricos del sistema de alerta fitosanitaria del estado de morelos". Sifamem [en línea], 2013, (México) 78, pp. 1-12.[Consulta: 2 de mayo de 2021] ISBN 978-607-37-0245-4. Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.908.5629&rep=rep1&type=pdf>.

RAMOS, F. Análisis de la cadena productiva del cacao ecuatoriano para el diseño de una política pública que fomente la productividad y la eficiencia de la producción cacaotera período 2007-2016. (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea] Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Facultad De Economía. Quito-Ecuador. 2018. p. 81 [Citado el: 24 de abril de 2021] Disponible en:

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14635/Tesis%20Fernando%20Loayza%20Versión%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

REYES, S. *Introducción a la meteorología*. [en línea] Baja California-México: UABC, 2002. [Consulta: 4 de mayo de 2021]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=E1-YgOPIS->

[UC&oi=fnd&pg=PA7&dq=variables+meteorológicas+introduccion&ots=UuvVFazzPW&sig=qg4zKj-](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=E1-YgOPIS-UC&oi=fnd&pg=PA7&dq=variables+meteorológicas+introduccion&ots=UuvVFazzPW&sig=qg4zKj-)

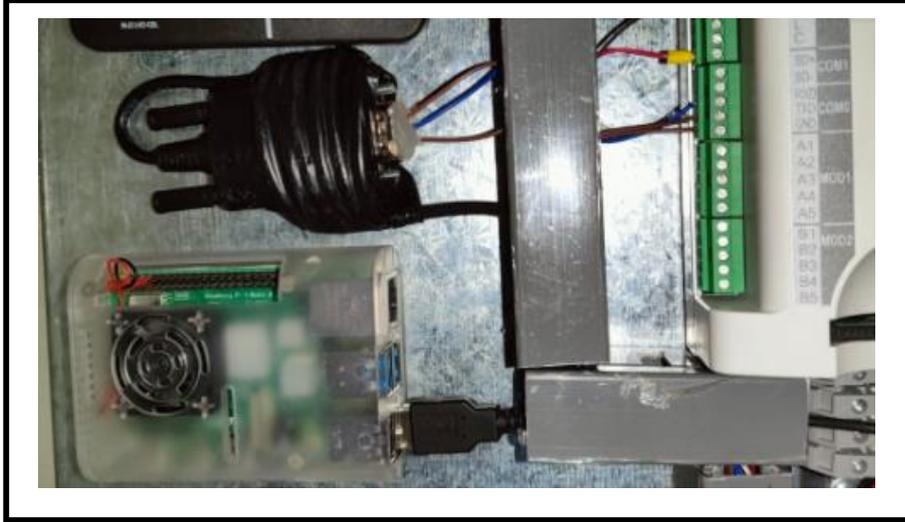
[SLV3Rl6IvV4D3LgkQcV8&redir_esc=y#v=onepage&q=variables%20meteorológicas%20introduccion&f=true](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=E1-YgOPIS-SLV3Rl6IvV4D3LgkQcV8&redir_esc=y#v=onepage&q=variables%20meteorológicas%20introduccion&f=true). 970-9051-44-X.

SOLANO, G. Diseño e implementación de una estación meteorológica con acceso a internet para lugares remotos. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea] Universidad De Ingeniería y Tecnología, Carrera De Ingeniería Electrónica, Lima, Perú. 2021. [Consulta: 2 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.utec.edu.pe/handle/20.500.12815/227>.

ANEXOS

ANEXO A: SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

CONEXIÓN RASPBERRY-DATALOGGER



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

CODIGO DE CONEXIÓN A LA NUBE

```
7 $servername = "localhost";
6 $username = "id17281622_vaisalaraspberry";
10 $contraseña = "~ v @ yw01m (FXl cUd";
9 $dbname = "id17281622_raspberryvaisala";
13
12
11 $cadena = $_GET [ 'cadena' ];
14 $obj = json_decode ( $ cadena );
diec:
15 $ DIA = $ obj -> { 'D' };
17 $ HORA = $ obj -> { 'T' };
18 $ HORAA = substr ( $ HORA , 0 , -4 ) . ":" . substr ( $ HORA , 2 , -2 ) . ":" . substr ( $ HORA
19 $ DIAA = "28" . substr ( $ DIA , 0 , -4 ) . "-" . substr ( $ DIA , 2 , -2 ) . "-" . substr ( $ D
20 $ FECHA = fecha ( $ DIAA . "-" . $ HORAA ); // 2001-03-10 17:16:18 (el formato DA
21 echo $ FECHA ;
22
23 // $ fecha = fecha ('Ymd H: i: s');
24 // mysql_query ("INSERT INTO `table` ('dateposted') VALUES ('$ date')");
25
26
27 // Crear conexión
1 $ conn = new mysqli ( $ nombre de servidor , $ nombre de usuario , $ contraseña , $ dbname ) ;
5 // Verifica la conexión
```

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

BASE DE DATOS

	id	FECHA	CADENA
<input type="checkbox"/>	1	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H"...
<input type="checkbox"/>	2	2019-11-26	("S":"ESPOCH","D":"191126","T":"101633","TAAVG1H"...
<input type="checkbox"/>	3	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"232900","TAAVG1H"...
<input type="checkbox"/>	4	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233000","TAAVG1H"...
<input type="checkbox"/>	5	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233000","TAAVG1H"...
<input type="checkbox"/>	6	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233100","TAAVG1H"...
<input type="checkbox"/>	7	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233100","TAAVG1H"...
<input type="checkbox"/>	8	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233200","TAAVG1H"...
<input type="checkbox"/>	9	2000-03-23	("S":"ORELLANA","D":"000323","T":"233300","TAAVG1H"...

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

ANEXO B: CÓDIGO DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

CÓDIGO DE COMUNICACIÓN DESARROLLADO EN PYTHON

```
import serial #puerto serie pyserial
import time #tiempo sleep
import threading # hilos de programacion
import json #formato json
import requests #http get, post

class SerialPortManager: # clase para el manejo del comunicacion serial

    def __init__(self): # iniciar la conexion serial, raspberry y el datalogger (init se llama el constructor de la clase)
        self.port = serial.Serial('/dev/ttyUSB0',9600,timeout=0.5) # defino la comunicacion serial, llinux lee las conexio
        self.port.flushInput() # limpian los furfers entrada
        self.port.flushOutput()# limpian los furfers salida

    def write(self, message): # metodo para escribir una cadena de la raspberry al datalogger
        print("Escribiendo al puerto serie: " + message)
        self.port.write(message)# escribe
        self.port.flushOutput()#limpia

    def readx(self): # metodo para leer una cadena del datalogger a la raspberry
        return self.port.readline().decode("utf-8","ignore") #utf-8 formato de archivos de computadora, ignore errores

    def close(self): # metodo para cerrar la conexion
        return self.port.close()

class DataManager: # clase para manejo de datos

    def MetMat10toJSON(self,mensaje): # metodo para transformar de metmat a formato json
        self.datoJSON=""
        for char in mensaje:
            if char=="(":
                self.datoJSON="{\"\"
            elif char==")":
                self.datoJSON=self.datoJSON+\"}\"\"
            elif char==":":
                self.datoJSON=self.datoJSON+\":\":"\"
            elif char==";":
                self.datoJSON=self.datoJSON+\";\":"\"
            else:
                self.datoJSON=self.datoJSON+char
        return self.datoJSON
```

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

ANEXO C: CÓDIGO HTML E INTERFACES GRÁFICAS

CÓDIGO HTML

```

3  <!DOCTYPE html >
4  <html >
5    < cabeza >
6      < título > Servidor MFC </ título >
7    </ cabeza >
8  < cuerpo >
9
10
11  < img style = "margin: 10px auto; display: block;" src = "imagenes / epoch.png" alt = "imagen no disponible" >
12  < div style = "ancho: 220 px; alto: 200 px; borde: 0; margen: 0 automático; color: verde; relleno: 20 px;" >
13  < p > Ingrese la fecha a ser consultada </ p >
14  < form action = "php / base.php" method = "POST" target = "_blank" >
15    Ingrese la Fecha inferior: < br >
16    < Entrada de id = "inferior" nombre = "inferior" tipo = "fecha" min = "10.27.2017" > < br > < br >
17    Ingrese la Fecha superiores: < br >
18    < Entrada de id = "superior" nombre = "superior" tipo = "fecha" min = "10.27.2017" > < br > < br >
19    < input type = "enviar" >
20  </ formulario >
21 </ div >
22 < guión >
23 var hoy = nueva fecha ( ) ;
24 var dd = hoy . getDate ( ) ;
25 var mm = hoy . getMonth ( ) + 1 ; // ¡Enero es 0!
26 var yyyy = hoy . getFullYear ( ) ;
27 si ( dd < 10 ) {

```

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

INTERFAZ GRÁFICA



Ingrese la fecha a ser consultada

Ingrese la fecha inferior:

Ingrese la fecha superior:



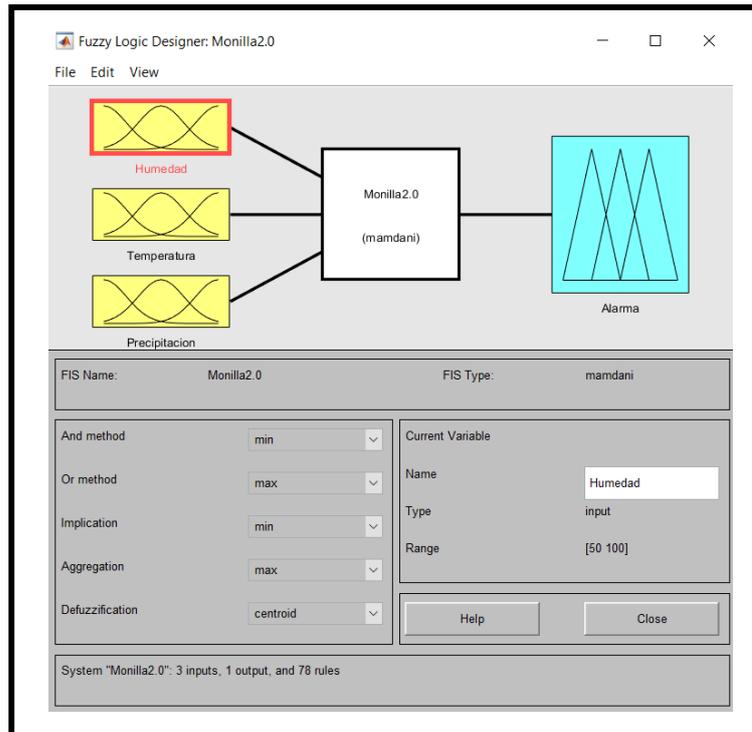
TABLA DE DATOS

ID	FECHA	S	D	T	TAAVG1H	TAMAX1H	TAMIN1H	RHVG1H	RHVG1H	RHMAX1H	RHM1H	PRSUM1H	PAAVG1H	PAMAX1H	PAMIN1H	SRGLOAVG1H	SRGLOMAX
15	2021-09-08	ORELLANA	210908	051000	21.4	21.4	21.4	45	45	45	45	0.0	730.5	730.5	730.5	0	0
30	2021-09-09	ORELLANA	210909	184400	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
31	2021-09-09	ORELLANA	210909	184400	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
32	2021-09-09	ORELLANA	210909	190800	23.5	23.5	23.5	45	45	45	45	0.0	727.4	727.4	727.4	0	0
33	2021-09-09	ORELLANA	210909	190800	23.5	23.5	23.5	45	45	45	45	0.0	727.4	727.4	727.4	0	0
34	2021-09-09	ORELLANA	210909	191000	23.5	23.5	23.5	45	45	45	45	0.0	727.4	727.4	727.4	0	0
35	2021-09-09	ORELLANA	210909	191000	23.5	23.5	23.5	45	45	45	45	0.0	727.4	727.4	727.4	0	0
36	2021-09-09	ORELLANA	210909	191100	23.5	23.5	23.5	45	45	45	45	0.0	727.4	727.4	727.4	0	0
37	2021-09-09	ORELLANA	210909	191100	23.5	23.5	23.5	45	45	45	45	0.0	727.4	727.4	727.4	0	0
38	2021-09-09	ORELLANA	210909	191300	23.5	23.5	23.5	45	45	45	45	0.0	727.3	727.3	727.3	0	0

Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

ANEXO D: DISEÑO DEL ALGORITMO

ENTRADAS (3) Y SALIDA (1)



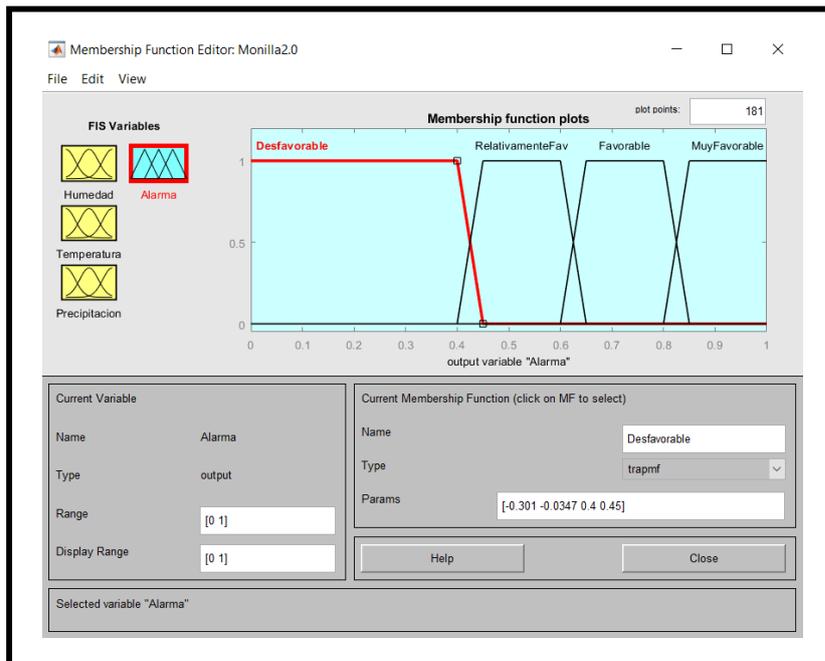
Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

VARIABLES LINGÜÍSTICAS DE LAS ENTRADAS



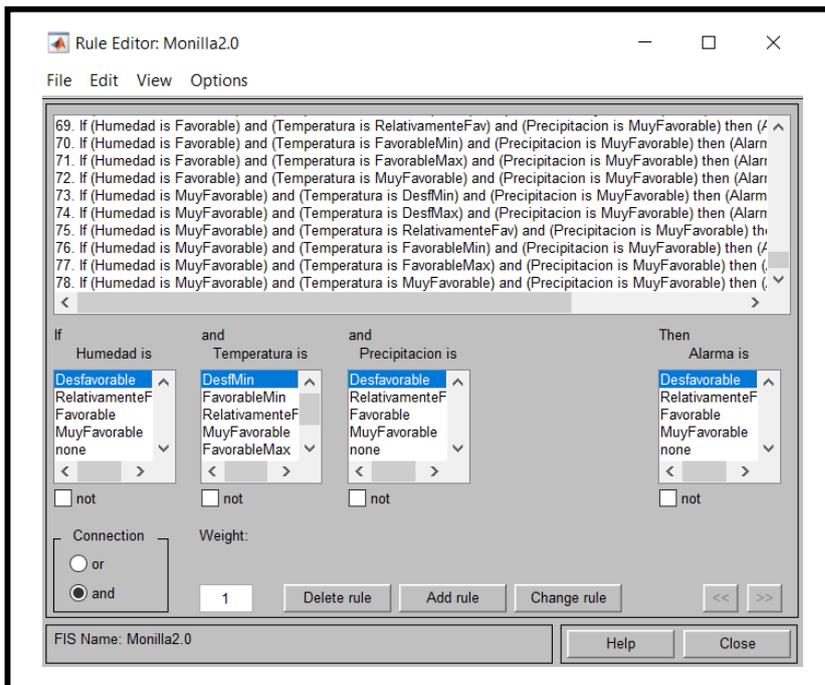
Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

VARIABLES LINGÜÍSTICAS DE LAS ENTRADAS



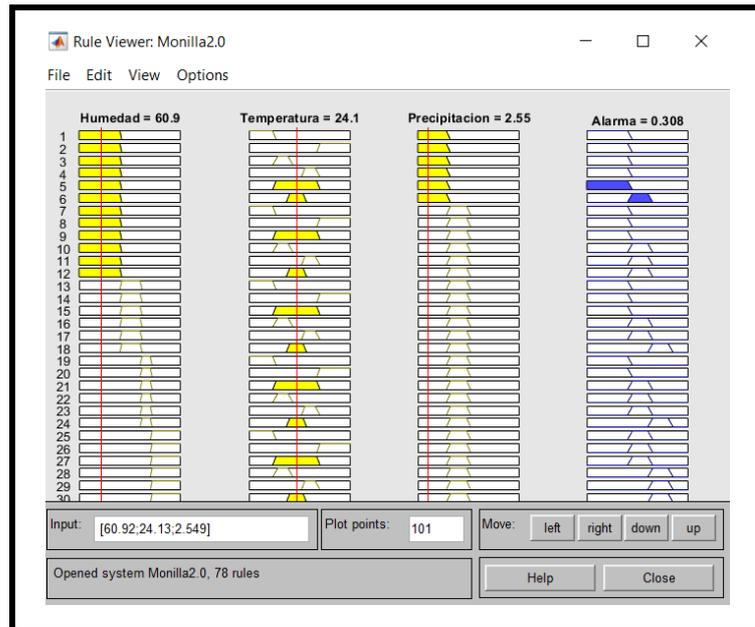
Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

DEFINICIÓN DE REGLAS



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

RESULTADOS DEL ALGORITMO



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO EN PYTHON



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

ANEXO E: CÓDIGO PHP Y MAIL CON LA ALARMA FITOSANITARIA

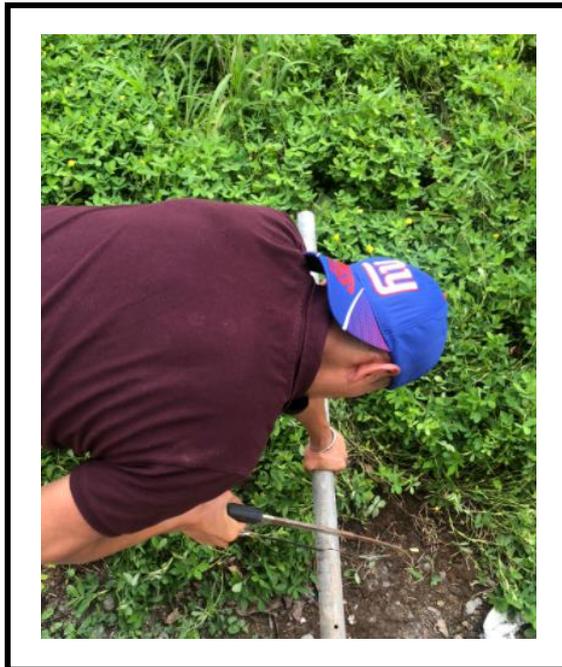
CÓDIGO PHP

```
9 <? php
10
11 $servername = "localhost";
12 $username = "id17281622_vaisalaraspberry";
13 $contraseña = "~ v @ yw01m (FX! (cUd";
14 $dbname = "id17281622_raspberryvaisala";
15
16 // Crear conexión
17 $conn = new mysqli ( $ nombre de servidor , $ nombre de usuario , $ contraseña , $ dbname );
18 // Verifica la conexión
19 if ( $ conn -> connect_error ) {
20     die ( "Conexión fallida:" . $ conn -> connect_error );
21 }
22
23 $sql = "SELECT * FROM` usuarios` " ;
24
25 diec:
26 if ( $ resultado = $ conexión -> consulta ( $ sql )) {
27     // echo "Nuevo registro creado con éxito";
28     } más {
29     echo "Error: ee" . $ sql . "<br>" . $ conexión -> error ;
30 }
31
32 $ conexión -> cerrar ( ) ;
33
34 $ filas = matriz ( ) ;
```

MENSAJE DE LA ALARMA FITOSANITARIA



**ANEXO F: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA
MEDICIÓN Y CORTE DE TUBOS PARA SOPORTE DE LOS SENSORES**



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

**ELABORACIÓN DE POSTES PARA EL ACOPLAMIENTO DE SENSORES Y
MANGUERAS CON APANTALLAMIENTO METÁLICO PARA CABLE DE
SENSORES**



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

INCORPORACIÓN DE GABINETE METÁLICO EN LA TORRE



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

ELEMENTOS INTEGRADOS AL GABINETE METÁLICO



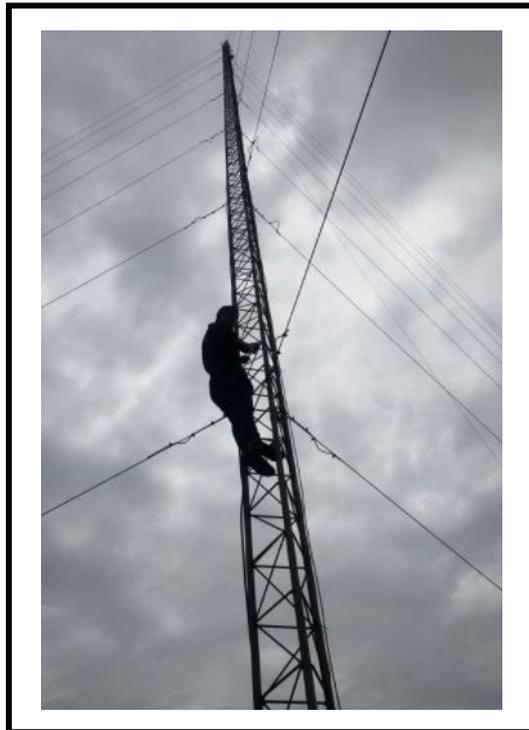
Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DEL PANEL SOLAR A LA GABINETE METÁLICO



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

INSTALACIÓN DE SENSORES AÉREOS



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

INSTALACIÓN DE SENSORES TERRESTRES



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

ANEXO G: IMPLEMENTACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS SENSORES

SENSOR TDR 315H



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

SENSOR DE RADIACIÓN SOLAR CMP3



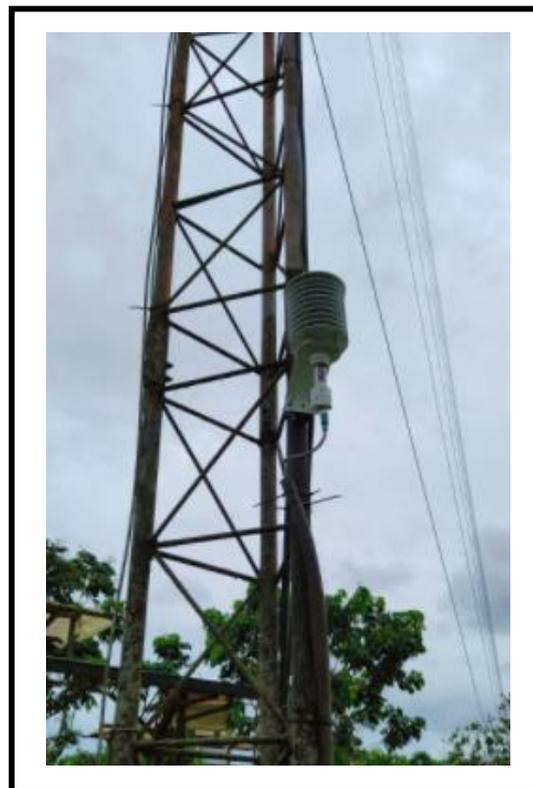
Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

SENSOR DE LLUVIA TR525 W2



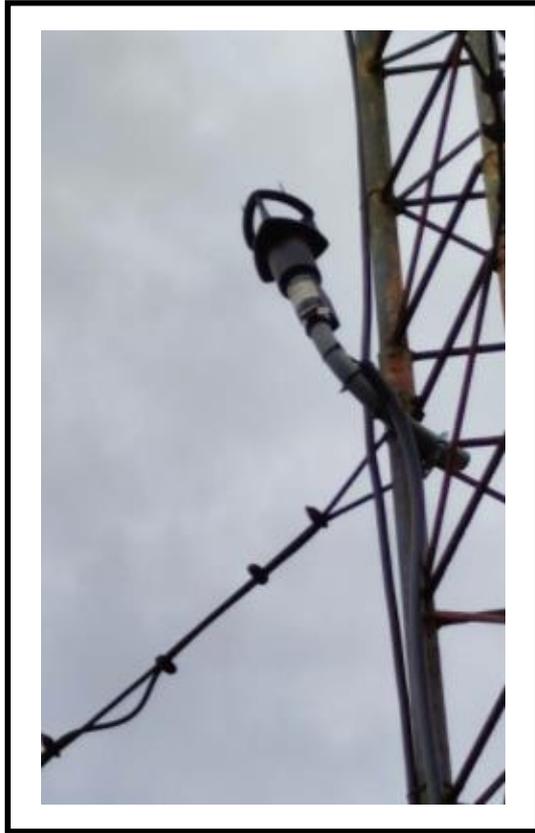
Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD HMP-155



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

SENSOR ULTRASONIDO YOUNG 86000



Realizado por: Cevallos A., Granizo C. 2021

ANEXO H: COMPARACIÓN DE DATOS

DATOS RECOLECTADOS EN LA BASE DE DATOS

112	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"072000","TAAVG1H...
113	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"073000","TAAVG1H...
114	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"074000","TAAVG1H...
115	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"075000","TAAVG1H...
116	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"080000","TAAVG1H...
117	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"081000","TAAVG1H...
118	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"082000","TAAVG1H...
119	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"083000","TAAVG1H...
120	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"084000","TAAVG1H...
121	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"085000","TAAVG1H...
122	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"090000","TAAVG1H...
123	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"091000","TAAVG1H...
124	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"092000","TAAVG1H...
125	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"093000","TAAVG1H...
126	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"094000","TAAVG1H...
127	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"095000","TAAVG1H...
128	2021-09-10	{"S":"ORELLANA","D":"210910","T":"100000","TAAVG1H...

DATOS MOSTRADOS EN INTERFAZ GRÁFICA

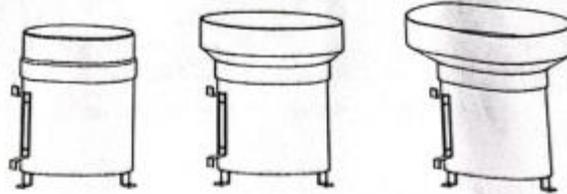
112	2021-09-10	ORELLANA	210910	072000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.7	729.7	729.7
113	2021-09-10	ORELLANA	210910	073000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.6	729.6	729.6
114	2021-09-10	ORELLANA	210910	074000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.6	729.6	729.6
115	2021-09-10	ORELLANA	210910	075000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.6	729.6	729.6
116	2021-09-10	ORELLANA	210910	080000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5
117	2021-09-10	ORELLANA	210910	081000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5
118	2021-09-10	ORELLANA	210910	082000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5
119	2021-09-10	ORELLANA	210910	083000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5
120	2021-09-10	ORELLANA	210910	084000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.4	729.4	729.4
121	2021-09-10	ORELLANA	210910	085000	22.0	22.0	22.0	45	45	45	45	0.0	729.4	729.4	729.4
122	2021-09-10	ORELLANA	210910	090000	21.9	21.9	21.9	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5
123	2021-09-10	ORELLANA	210910	091000	21.9	21.9	21.9	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5
124	2021-09-10	ORELLANA	210910	092000	21.9	21.9	21.9	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5
125	2021-09-10	ORELLANA	210910	093000	21.9	21.9	21.9	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5
126	2021-09-10	ORELLANA	210910	094000	21.9	21.9	21.9	45	45	45	45	0.0	729.5	729.5	729.5

DATOS RECOLECTADOS EN EL SITIO POR MEDIO DEL KESTREL 5000





ANEXO I: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES



Model TR-525 Series Rainfall Sensors

DESCRIPTION

The sensor consists of a gold powder-coated aluminum collector funnel with a knife-edge that diverts the water to a tipping bucket mechanism. A magnet is attached to the tipping bucket, which actuates a magnetic switch on each tip of the bucket. The water drains out of the bottom of the housing, so the sensor requires no attention or servicing. Connecting the sensor to an event counter on a data logger or display module allows for electronics record keeping of accumulated rainfall.

The aluminum housing is finished with a white powder-coat to withstand years of exposure to the environment.

<u>Specifications</u>	TR-525I	TR-525U	TR-525M	TR-525W2
Resolution:	0.01" or .2 mm	0.01" or .2 mm	0.1 mm	0.01" or .2 mm
Accuracy:	0-2 in. (50 mm) per hour; +/-1%	0-2 in. (50 mm) per hour; +/-1%	50 mm per hour; +/-1%	0-2 in. (50 mm) per hour; +/-1%
Range:	27" (700 mm per hour)			
Average Switch Closure Time:	135 ms	135 ms	135 ms	135 ms
Maximum Bounce Settling Time:	0.75 ms	0.75 ms	0.75 ms	0.75 ms
Maximum Switch Rating:	30 VDC @ 2A 115 VAC @ 1A			
Temperature Limits:				
Operational Temperature:	32 to 158°F	32 to 158°F	32 to 158°F	32 to 158°F
Storage Temperature:	-40 to 185°F	-40 to 185°F	-40 to 185°F	-40 to 185°F
Humidity Limits:				
Humidity:	0 to 100%	0 to 100%	0 to 100%	0 to 100%
Height:	10.25"	11.125"	12"	11.125"
Weight:	1.6 lbs.	1.8 lbs.	2 lbs.	1.8 lbs.
Receiving Orifice Diameter:	6.060"	8.000"	9.664"	200mm
Cable:	10', 24 Gauge 2 Cnd.			
Maintenance:	Occasional cleaning of debris from filter screen may be required.	Occasional cleaning of debris from filter screen may be required.	Occasional cleaning of debris from filter screen may be required.	Occasional cleaning of debris from filter screen may be required.
Warranty:	3 years	3 years	3 years	3 years

FIELD CALIBRATION
TR-525I & TR-525U & TR-525M

Absolutely accurate calibration can be obtained only with laboratory equipment, but an approximate field check can easily be made. The tipping bucket mechanism is a simple and highly reliable device. The transmitter must be located in a clear area, away from trees, buildings, etc. To obtain accurate readings, the unit must be mounted level and free of foreign material, dust, or other debris. The transmitter must be calibrated with the rate of flow of water through the tipping bucket mechanism under control.

A field calibration kit, the FC-500, is available from Texas Electronics, Inc. It consists of 3 rods, container, black bag, nozzle, cleaning pin for nozzle and instructions.



CALIBRATION CERTIFICATE

CERTIFICATE NUMBER	017973187433
PYRANOMETER MODEL	CMP 3
SERIAL NUMBER	187433
SENSITIVITY	14.92 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ at normal incidence on horizontal pyranometer
IMPEDANCE	40 Ω
REFERENCE PYRANOMETER	Kipp & Zonen CMP 3 sn 071176 active from 01 August 2018
CALIBRATION DATE	20 November 2018
CLASSIFICATION	ISO 9060, Class C (Second Class)

Calibration procedure

The indoor calibration procedure is based on a side-by-side comparison with a reference pyranometer under an artificial sun fed by an AC voltage stabiliser. It embodies a 150 W Metal-Halide high-pressure gas discharge lamp. Behind the lamp is a reflector with a diameter of 16.2 cm. The reflector is 1 m above the pyranometers producing a vertical beam. The reference and test pyranometers are mounted horizontally on a table, which can rotate. The irradiance at the pyranometers is approximately 500 W/m^2 . During the calibration procedure the reference and test pyranometer are interchanged to correct for any non-homogeneity of the beam. Temperature of calibration: 22 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$.

Hierarchy of traceability

The reference pyranometer was compared with the sun and sky radiation as source under clear sky conditions using the "alternating sun and shade method" ISO 9846 paragraph 5. The measurements were performed in Tabernas, Spain (latitude: 37.094 $^{\circ}$, longitude: 2.3547 $^{\circ}$, altitude: 503m above sea level). Dates of measurements: 8, 10-12 June 2018. The receiver surface was pointed directly at the sun using a solar tracker. During the comparisons, the instrument received tilted global radiation intensities from 845 to 1212 with a mean of 1037 W/m^2 and tilted diffuse radiation intensities from 106 to 199 with a mean of 142 W/m^2 . The ambient temperature ranged from +22.7 to +29.7 with a mean of +27.3 $^{\circ}\text{C}$. The direct radiation on the reference pyranometer as obtained with the alternating-sun-shade method was compared to the DNI measured by the absolute cavity pyrheliometer PMO6 SN 103. The PMO6 is calibrated against the World Standard Group (WSG), maintained at the WRC Davos every International Pyrheliometer Comparison (IPC). The PMO6 participates every IPC since 2005 and it participates in the yearly NPC hosted by NREL in Golden, Colorado to verify its stability. WRR factor of PMO6: 0.99789 (from the last IPC, IPC-2015).

This calibration proved that the reference pyranometer has been stable and that the original sensitivity 11.07 \pm 0.28 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ is valid and will be used in the PMO6 calibration details. Observed consistency differences between the consecutive years are well within the calibration uncertainty.

PMO6 calibration details: The reference pyranometer was compared with the sun and sky radiation as source under mainly clear sky conditions using the "continuous sun-and-shade method". The pyranometer was installed horizontally. During the comparisons, the global radiation ranged from 638 to 1195 with a mean of 874 W/m^2 . The solar zenith angle varied from 23.5 to 41.8 with a mean of 32.9 degrees. The ambient temperature ranged from +12.6 to +26.2 with a mean of +23.7 $^{\circ}\text{C}$. The sensitivity calculation is based on 438 individual measurements. The readings of the WSG are referred to the World Radiometric Reference (WRR). The estimated uncertainty of the WRR relative to SI is $\pm 0.3\%$. The obtained sensitivity value and its expanded uncertainty (95% level of confidence) are valid for similar conditions and are: 11.07 \pm 0.28 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$. The measurements were performed in Davos (latitude: 46.8143 $^{\circ}$, longitude: -9.8458 $^{\circ}$, altitude: 1553m above sea level). Dates of measurements: 24, 30 June 1, 2 July 2015.

Global radiation data were calculated from the direct solar radiation as measured with the absolute cavity pyrheliometer PMO2 (member of the WSG, WRR-Factor: 0.998623, based on the last IPC-2010) and from the diffuse radiation as measured with a continuous disk shaded pyranometer Kipp & Zonen CM22 SN 020059 (ventilated with heated air).

Justification of total instrument calibration uncertainty

The combined uncertainty of the result of the calibration is the positive "root sum square" of two uncertainties.

1. The expanded uncertainty due to random effects and instrumental errors during the calibration of the reference CMP 3 is $\pm 0.28/11.07 = \pm 2.53\%$. (See traceability text).
 2. Based on experience, the expanded uncertainty of the transfer procedure (calibration by comparison) is estimated to be $\pm 0.5\%$.
- The estimated combined expanded uncertainty is the positive "root sum square" of these two uncertainties: $(2.53^2 + 0.5^2)^{0.5} = \pm 2.58\%$.

Notice

The calibration certificate supplied with the instrument is valid at the date of first use. Even though the calibration certificate is dated relative to manufacture, or recalibration, the instrument does not undergo any sensitivity changes when kept in the original packaging. From the moment the instrument is taken from its packaging and exposed to irradiance the sensitivity may deviate with time. See the "non-stability" value (% change in sensitivity per year) given in the radiometer specifications.

* From October 2018 the classification conforms to ISO 9060:2018. Instruments issued before that date conform to ISO 9060:1990.

Delft, The Netherlands, 20 November 2018

Joop Mes
J. Mes
(in charge of calibration facility)

M. Knoope
M. Knoope
(in charge of test)



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17 / 03 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: ANTHONY FABIÁN CEVALLOS MEDINA CARLOS EFRAÍN GRANIZO VERA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



2080-DBRA-UPT-2021