



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

PROYECTO TÉCNICO:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
ESTACIÓN METEOROLÓGICA AGRÍCOLA
AUTOSUSTENTABLE PARA EL MONITOREO DE
PARÁMETROS AMBIENTALES EN CULTIVOS DE CACAO
MEDIANTE RASPBERRY PI**

AUTORES:

**CARLOS LUIS BALLADARES FEIJOO
DANNY FABIÁN LÓPEZ VARGAS**

TUTOR:

PHD LENIN ESTUARDO CEVALLOS ROBALINO

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación

Yo, CARLOS LUIS BALLADARES FEIJOO y DANNY FABIÁN LÓPEZ VARGAS, estudiantes de ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana certificamos que los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad de los autores y es propiedad intelectual de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, mayo del 2021

Carlos Balladares

(f) _____

CARLOS LUIS BALLADARES FEIJOO

C.I. 0930569884

Danny López

(f) _____

DANNY FABIÁN LÓPEZ VARGAS

C.I. 0919750323

Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la UPS

Yo, CARLOS LUIS BALLADARES FEIJOO y con documento de identificación N.º 0930569884 y DANNY FABIÁN LÓPEZ VARGAS con documento de identificación N.º 0919750323, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Politécnica Salesiana los derechos patrimoniales en calidad de autores del proyecto de titulación titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA AGRÍCOLA AUTOSUSTENTABLE PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN CULTIVOS DE CACAO MEDIANTE RASPBERRY PI”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de ingeniero electrónico con énfasis en telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de propiedad intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada.

En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

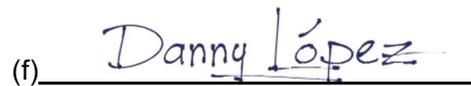
Guayaquil, mayo del 2021



(f) _____

CARLOS LUIS BALLADARES FEIJOO

C.I. 0930569884



DANNY FABIÁN LÓPEZ VARGAS

C.I. 0919750323

Certificado de dirección del trabajo de titulación

Por medio de la presente doy a conocer que el proyecto de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA AGRÍCOLA AUTOSUSTENTABLE PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN CULTIVOS DE CACAO MEDIANTE RASPBERRY PI” presentado por CARLOS LUIS BALLADARES FEIJOO y DANNY FABIÁN LÓPEZ VARGAS para optar por el título de ingeniero electrónico con énfasis telecomunicaciones, se ajusta a las normas establecidas por la Universidad Politécnica Salesiana, por tanto, autorizo su presentación ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, mayo del 2021

LENIN
ESTUARDO
CEVALLOS
(f) ROBALINO

Firmado digitalmente
por LENIN ESTUARDO
CEVALLOS ROBALINO
Fecha: 2021.05.31
04:24:33 +02'00'

PhD. LENIN ESTUARDO CEVALLOS ROBALINO
DIRECTOR DE PROYECTO DE TESIS

Dedicatoria

CARLOS LUIS BALLADARES FEIJOO

Este presente proyecto investigativo se la dedico principalmente a Dios, quien supo verdaderamente guiarme por este arduo camino, por ser el inspirador y regalarme fuerzas para poder seguir adelante y no decaer en todas las adversidades que se me presentaban sin perder jamás la dignidad ni desfallecer en el intento. A mis padres quienes me forjaron como la persona que soy ahora en la actualidad; todos mis logros se los debo a ellos, me formaron con reglas y con ciertas libertades, que a la final de cuentas, me motivaron a poder seguir adelante y poder alcanzar todos mis anhelos.

A todas esas personas especiales que nos han apoyado y han hecho que todo este trabajo se realice con todo el éxito y sobre todo a esas personas que nos abrieron las puertas y compartieron conocimientos.

Pero mi mayor agradecimiento se la dedico de corazón a mis abuelos MOMA Y PIPO que se que ellos les hubiera encantado mucho haberme visto culminar esta gran etapa, ellos fueron y serán mi pilar fundamental en esta gran etapa.

DANNY FABIÁN LÓPEZ VARGAS

Agradecemos a Dios por habernos dado la oportunidad de culminar con éxito una etapa más de nuestras vidas, brindándonos día a día paciencia, sabiduría y perseverancia para alcanzar nuestros objetivos. Extendemos nuestro agradecimiento también a nuestros padres quienes fueron el pilar fundamental y apoyo incondicional en todo tiempo.

Quiero agradecer de forma muy especial a Joselyn Ochoa por estar conmigo a cada momento dándome su fiel apoyo, consejo y palabra de aliento durante todo este proceso. Quiero finalizar agradeciendo a la Universidad Politécnica Salesiana en conjunto a todos sus colaboradores por todo el conocimiento compartido hacia nosotros durante todos este tiempo.

Resumen

Este proyecto de tesis tiene como principal objetivo el diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable para el monitoreo de parámetros ambientales en cultivo de cacao mediante Raspberry PI para ser aplicados en granjas agrícolas del Ecuador con el fin de tecnificar el crecimiento y mantenimiento de plantaciones de cacao, con el constante monitoreo aplicando sensores y tecnologías del internet de las cosas mediante hardware de bajo costo como ESP32 y Raspberry PI, base de datos y programación de APP que servirá para el monitoreo de los parámetros ambientales del prototipo.

Este proyecto de investigación es de suma importancia para los agricultores de la zona costa del Ecuador donde se da la producción y cosecha del cacao fino de aroma o cacao nacional. Utilizando herramientas del IoT y las telecomunicaciones podemos monitorizar constantemente diferentes parámetros ambientales para llevar un adecuado control en el crecimiento de la planta de cacao, ya que el objetivo es que el cacao sea de la mejor calidad posible. En primera instancia se desarrolla un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable que se armará y configurará en el domicilio del autor de este trabajo Danny López, en este lugar se realizarán todas las pruebas de configuraciones de sensores y diseño de la electrónica para el prototipo de estación meteorológica. Posterior a las configuraciones de la estación meteorológica se realizará una maqueta de vivero agrícola de cultivo de cacao que será situada en el mismo domicilio del autor para las pruebas y monitorización de varias semanas con lo cual se obtendrá datos significativos de sensores como los de humedad ambiental, temperatura, caudal de lluvia, velocidad del viento, humedad de suelo y radiación solar UV que serán enviados a una base de datos en la Raspberry PI para su posterior análisis lo cual determinará información relevante para la toma de decisiones en el crecimiento de la planta de cacao. Los docentes investigadores, así como los estudiantes de la carrera de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, se verán beneficiados ya que tendrán a su disposición un prototipo de estación meteorológico agrícola para poner en práctica sus conocimientos del internet de las cosas, las telecomunicaciones y de la electrónica de bajo costo con el uso de Raspberry PI y ESP32.

Abstract

This thesis project has as its main objective the design and implementation of a prototype self-sustaining agricultural weather station for monitoring environmental parameters in cocoa cultivation using Raspberry PI to be applied on agricultural farms in Ecuador in order to technology the growth and maintenance of cocoa plantations, with constant monitoring applying sensors and internet of things technologies using low-cost hardware such as ESP32 and Raspberry PI , database and PPP programming that will be used for monitoring the environmental parameters of the prototype.

This research project is of paramount importance to farmers in the coast of Ecuador where the production and harvest of fine cocoa of aroma or national cocoa is given. Using IoT and telecommunications tools we can constantly monitor different environmental parameters to keep an adequate control over the growth of the cocoa plant, since the objective is that cocoa is of the best possible quality. In the first instance, a prototype self-sustaining agricultural weather station is developed that will be assembled and configured at the home of the author of this work Danny López, in this place will be carried out all the tests of sensor configurations and electronics design for the prototype weather station. Following the configurations of the weather station, a model of agricultural cocoa culture nursery will be made that will be located in the same address of the author for testing and monitoring for several weeks so that significant data will be obtained from sensors such as ambient humidity, temperature, rain flow, wind speed, soil humidity and UV solar radiation that will be sent to a database on the Raspberry PI for further analysis which will determine information relevant to decision-making in the growth of the cocoa plant. Research teachers, as well as students in the telecommunications career of the Salesiana Polytechnic University headquarters Guayaquil, will benefit as they will have at their disposal a prototype agricultural weather station to put into practice their knowledge of the Internet of Things, telecommunications, and low-cost electronics with the use of Raspberry PI and ESP32.

Índice general

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	II
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la UPS	III
Certificado de dirección del trabajo de titulación	IV
Dedicatoria	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Índice general	VIII
Índice de figuras	XI
Índice de tablas.....	XIV
Introducción	XV
1. El problema.....	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Importancia y alcance.....	3
1.4. Delimitación.....	3
1.5. Beneficiarios de la propuesta.....	4
1.6. Propuesta de solución	4
1.7. Innovación e impacto del proyecto.....	4
1.8. Objetivo general	5
1.9. Objetivo específico	5
2. Fundamentos teóricos.....	6
2.1. Historia del cacao en el Ecuador	6
2.2. Producción del cacao en el Ecuador.....	11
2.3. Zonificación agroecológica del cultivo de cacao en el Ecuador.....	21
2.4. Tipos de cacao en el Ecuador.....	23
2.4.1. Cacao forastero	23
2.4.2. Cacao criollo.....	24
2.4.3. Cacao trinitario	25
2.4.4. Cacao CCN-51	25
2.5. Procedimientos para el cultivo del cacao	26

2.5.1.	Materiales para la siembra de cacao	28
2.5.2.	Condiciones Agroecológicas para la siembra de cacao	29
2.5.3.	Requerimientos de suelo para el cultivo de cacao	31
2.5.4.	Requerimientos climáticos y edáficos	32
2.5.5.	Zonas de producción en el país	33
2.6.	Climatología agrícola	33
2.7.	Estación meteorológica agrícola	36
2.8.	Variables físicas de medición de las estaciones meteorológicas agrícolas	
	37	
2.8.1.	Temperatura	38
2.8.2.	Humedad	38
2.8.3.	Presión atmosférica	39
2.8.4.	Velocidad del viento	39
2.8.5.	La lluvia	40
2.9.	ESP32	41
2.10.	Raspberry PI 3	42
2.10.1.	Especificaciones técnicas Raspberry PI 3	43
2.11.	Sensores de estación meteorológica agrícola	44
2.11.1.	Sensor de Velocidad del viento	44
2.11.2.	Sensor dirección del viento	45
2.11.3.	Pluviómetro	47
2.11.4.	Sensor de temperatura con sonda	48
2.11.5.	Módulo GSM / GPSRS + GPS	49
2.11.6.	Sensor UV	50
2.11.7.	Sensor Humedad del suelo	51
2.11.8.	Sensor humedad y temperatura ambiente	52
3.	Marco metodológico	54
3.1.	Tipo de investigación	54
3.2.	Diseño de investigación	54
3.3.	Enfoque de la investigación	55
3.4.	Metodología de investigación	55
3.5.	Proyectos de investigación vinculados	56

3.6.	Título de la propuesta	57
3.7.	Descripción de la propuesta	57
3.8.	Desarrollo de la propuesta.....	59
3.9.	Conectorización de prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable.	65
3.10.	Conectorización de sensores	73
3.11.	Test de sensores.....	78
3.11.1.	Test de sensor de temperatura y humedad DTH11	79
3.11.2.	Test de sensor de temperatura de suelo DS18B20	80
3.11.3.	Test de sensor de humedad de suelo	81
3.11.4.	Test de sensor de cantidad de lluvia	82
3.11.5.	Test de sensor UV	85
3.11.6.	Test de sensor de velocidad de viento	87
3.11.7.	Test de sensor de dirección del viento	89
3.11.8.	Test de módulo GSM	91
3.12.	Código final cargado al ESP32.....	95
4.	Resultados.....	111
4.1.	Visualización de datos en ThinkSpeak vía web	118
4.2.	Visualización de datos en ThinkSpeak vía APP.....	120
4.3.	Visualización de datos de alerta en SMS.....	124
5.	Análisis de resultados	125
5.1.	Análisis de datos de temperatura ambiente	128
5.2.	Análisis de datos de humedad relativa.....	129
5.3.	Análisis de datos de temperatura de suelo	130
5.4.	Análisis de datos de humedad de suelo.....	130
5.5.	Análisis de datos de rayos UV	131
5.6.	Análisis de datos de dirección del viento	132
5.7.	Análisis de datos de velocidad del viento.....	133
5.8.	Análisis de datos de cantidad de lluvia	134
6.	Conclusiones	136
7.	Recomendaciones	138
	Referencias bibliográficas.....	139

Índice de figuras

Figura 2.1 Cacao fino de aroma ecuatoriano	7
Figura 2.2 Hacienda de cacao Esperanza – Los Ríos.....	8
Figura 2.3 Precio internacional del cacao 1960 – 2005.....	10
Figura 2.4 Mapa de la producción Nacional de cacao al 2018	13
Figura 2.5 Superficie cosechada (hectáreas), producción y rendimiento.....	13
Figura 2.6 Rendimiento a nivel nacional del cacao, participación en la producción nacional 2018 cacao (almendra seca).....	14
Figura 2.7 Precio productor de cacao en quintal	15
Figura 2.8 Precio internacional del cacao fino de aroma en tonelada.....	16
Figura 2.9 Participación de importaciones mundiales de cacao en grano por países, año 2018	17
Figura 2.10 Participación de producción mundial de cacao para el año 2018	17
Figura 2.11 Tenencia de la tierra de productores de cacao 2018.....	18
Figura 2.12 Superficie y rendimiento nacional de cacao seco durante los años 2008 a 2018	19
Figura 2.13 Pérdidas de la producción en las plantaciones de cacao de la provincia de Los Ríos 2018.....	20
Figura 2.14 Cacao forastero	24
Figura 2.15 Cacao criollo	24
Figura 2.16 Cacao trinitario.....	26
Figura 2.17 Proceso técnico del ciclo del cacao en la cadena	27
Figura 2.18 Cadena del cacao, procesos, actores y relaciones técnico – económica	27
Figura 2.19 Materiales de siembra de cacao	29
Figura 2.20 Condiciones agroecológicas del cacao	30
Figura 2.21 Vivero de cacao	32
Figura 2.22 Estación meteorológica para la agricultura.....	35
Figura 2.23 Estación meteorológica para la agricultura.....	37
Figura 2.24 ESP32	42
Figura 2.25 Raspberry Pi.....	43
Figura 2.26 Sensor velocidad del viento	45
Figura 2.27 Sensor velocidad del viento	47

Figura 2.28 Pluviómetro	48
Figura 2.29 Sensor temperatura con sonda	49
Figura 2.30 Módulo GSM GPRS GPS.....	50
Figura 2.31 Sensor UV	51
Figura 2.32 Sensor humedad del suelo.....	52
Figura 2.33 Sensor humedad y temperatura	53
Figura 3.1 Prototipo de estación meteorológica autosustentable utilizada para agricultura.....	57
Figura 3.2 Planta de cacao	59
Figura 3.3 Elementos del PCB.....	60
Figura 3.4 Conexiones del ESP32	60
Figura 3.5 Conexión U1 – CP2102 GMR	61
Figura 3.6 Conexión LM2576.....	61
Figura 3.7 Conexiones IC1	62
Figura 3.8 Conexiones ADS1115.....	62
Figura 3.9 Conexiones sensores	63
Figura 3.10 Conexiones MIC-29302	63
Figura 3.11 Conexiones SIM 808.....	64
Figura 3.12 Diseño en 3D de la PCB del prototipo	64
Figura 3.13 Conexión de elementos del prototipo	65
Figura 3.14 Etiquetado de los conectores de los sensores	66
Figura 3.15 Protección de los sensores	66
Figura 3.16 Armado de pedestal base del prototipo	67
Figura 3.17 Colocación de elementos en el pedestal	67
Figura 3.18 Ajustes de la caja del prototipo	68
Figura 3.19 Conectorización de sensores meteorológicos	68
Figura 3.20 Ajustes con amarras de los cables del prototipo	69
Figura 3.21 Peinado del cableado.....	69
Figura 3.22 Prototipo IoT ensamblado	70
Figura 3.23 Vista frontal del prototipo IoT	71
Figura 3.24 Conexiones de panel solar.....	72
Figura 3.25 Cableado del sistema solar.....	72
Figura 3.26 Conectorización de batería solar.....	73
Figura 3.27 Sensor cantidad de lluvia	73

Figura 3.28 Sensor velocidad del viento	74
Figura 3.29 Sensor dirección del viento	74
Figura 3.30 Sensor humedad de suelo	75
Figura 3.31 Sensor temperatura y humedad relativa.....	75
Figura 3.32 Sensor UV	76
Figura 3.33 Sensor humedad de suelo	76
Figura 3.34 Monitorización de las plantas	77
Figura 3.35 Colocación del sensor de humedad de suelo.....	77
Figura 3.36 Conexión del sensor temperatura del suelo	78
Figura 3.37 Acceso remoto al prototipo mediante servidor Raspberry	79
Figura 4.1 Monitorización local de parámetros del prototipo IoT	111
Figura 4.2 Cuenta de ThinkSpeak.....	112
Figura 4.3 Estadísticas de la cuenta de ThinkSpeak.....	113
Figura 4.4 Disponibilidad de emails de alerta.....	113
Figura 4.5 Canal del prototipo.....	113
Figura 4.6 ID de Canal.....	114
Figura 4.7 Configuraciones principales del canal.....	115
Figura 4.8 Configuraciones de latitud y longitud.....	116
Figura 4.9 Canal compartido.....	116
Figura 4.10 API Key.....	117
Figura 4.11 Almacenamiento de datos.....	117
Figura 4.12 Visualización de sensores Temperatura ambiente, temperatura del suelo y humedad.....	118
Figura 4.13 Visualización de sensores UV, Dirección del viento, velocidad del viento cantidad de lluvia	118
Figura 4.14 Ubicación del prototipo.....	119
Figura 4.16 Estadísticas de temperatura.....	119
Figura 4.17 Pantalla principal de APP Thingshow.....	120
Figura 4.19 Datos promedios en APP.....	121
Figura 4.20 Datos de sensores	122
Figura 4.22 Visualización vía web desde el celular	123
Figura 4.23 SMS de monitorización	124
Figura 5.1 Monitorización por ThinkSpeak.....	125
Figura 5.2 Cantidad de datos de temperatura ambiente.....	128

Figura 5.3 Gráfica de humedad relativa 129

Figura 5.4 Datos del sensor de temperatura del suelo	130
Figura 5.5 Datos de humedad de suelo	131
Figura 5.6 Datos del Sensor UV	132
Figura 5.7 Datos de dirección del viento	133
Figura 5.8 Datos de velocidad del viento	134
Figura 5.9 Datos de cantidad de lluvia	135

Índice de tablas

Tabla 2.1 Exportaciones del cacao desde el año 2008	10
Tabla 2.2 Principales exportaciones ecuatorianas, sin petróleo	11
Tabla 2.3 Datos de comercio exterior referentes al cacao fino de aroma ecuatoriano	16
Tabla 2.4 Superficie, producción y rendimientos provinciales	19
Tabla 2.5 Costos porcentuales de cacao fino de aroma.....	20
Tabla 2.6 Requerimientos agroecológicos para el cultivo de Cacao (Theobroma cacao L.), en el Ecuador continental	22
Tabla 2.7 Zonificación agroecológica económica del cultivo de Cacao (Theobroma cacao L.), en el Ecuador continental	23
Tabla 5.1 Muestra de datos obtenidos por los sensores	126

Introducción

Ecuador es un país agrícola lleno de diversidades de terrenos donde se cultiva gran parte de productos para el consumo local o internacional. Uno de sus productos estrella es el cacao, que ha sido catalogado como un producto de alta calidad para el mercado internacional. El cacao fino de aroma y el cacao nacional se cultiva específicamente en zonas templadas de la costa ecuatoriana, para que crezca sin problemas el ambiente debe estar entre 22 a 30 grados centígrados, este rango de temperatura permite que el cacao tenga un buen desarrollo y se pueda dar buena cosecha. (Cacaomovil.com, 2020)

El cacao es sensible a la escasez de agua y al encharcamiento por lo cual se debe precisar suelos con buenos drenajes. Las zonas donde caen lluvias entre 1,500 a 2,500 milímetros por año, son las mejores para el cultivo de cacao. Es necesario que la lluvia tenga una buena distribución durante todos los meses, porque períodos secos prolongados, de más de dos meses, afecta la producción y marchita los árboles. (Cacaomovil.com, 2020)

En lugares donde las lluvias son menores de 1,500 mm y hay meses prologados de sequía, es necesario establecer sistemas de riego para evitar el riesgo de perder las plantaciones. Por ser originario de bosques tropicales, el cacao requiere un alto grado de humedad en el aire para su desarrollo y producción. El viento continuo en elcaco puede provocar un desecamiento, muerte y caída de hojas, por tal motivo se usa cortavientos para protección del cacao.

El cacao requiere de suelos muy ricos en materia orgánica, con buen drenaje y topografía regular. Las plantaciones de cacao deben estar localizadas en suelos que varían desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limos, con pH entre 4 y 7. Conocer estos parámetros y monitorearlos durante el crecimiento de la planta de cacao ayuda a que la producción sea tecnificada y de alta calidad para cosechar un producto con los cuidados necesarios listos para la exportación o venta local.

En este contexto se realiza un diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica agrícola que monitorizará parámetros como velocidad de viento, dirección del viento, cantidad de lluvia, temperatura ambiente, humedad ambiente, humedad de suelo y rayos UV. Este prototipo también ayudará a los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil a conocer diferentes tecnologías del internet de las cosas aplicadas a la agricultura.

Esta tesis se clasifica de la siguiente manera, en el primer capítulo se explica el problema, antecedentes, importancia y alcance, delimitación, beneficiarios de la propuesta, propuesta de solución y objetivos. En el segundo capítulo se refiere a los fundamentos teóricos del cultivo del cacao, los sistemas meteorológicos agrícolas, los diferentes sensores, Raspberry PI y ESP32, el capítulo tres se refiere al marco metodológico, tipo de investigación. El capítulo 4 trata sobre los resultados de la investigación. El capítulo 5 trata sobre los análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

1. El problema

1.1. Descripción del problema

La producción del cacao en la costa ecuatoriana en su gran mayoría no es tecnificada, esto significa que muchos de los agricultores que siembran cacao lo hacen artesanalmente y de la manera tradicional con los respectivos cuidados personalizados de la plantación de cacao logran cosechar en su gran mayoría la producción, sin embargo hay épocas o temporadas donde el clima no ayuda a un correcto desarrollo de las plantas de cacao, así mismo las plagas afectan en un gran porcentaje los cultivos, lo que produce pérdidas en la inversión y esto requiere de personal para la supervisión constante durante el crecimiento del cacao.

La monitorización del clima es un factor importante para el cultivo del cacao por tal motivo es importante que el agricultor esté bien informado de las condiciones climatológicas para poder hacer frente a cualquier eventualidad ambiental que pueda afectar a sus plantaciones de cacao.

Del análisis previo realizando visitas en fincas de la zona del cantón Pangua, provincia del Cotopaxi, se pudo validar que esta zona es de clima tropical lluvioso y montañoso donde se puede dar el cultivo de cacao sin embargo con una correcta monitorización del ambiente donde se crían las plantas de cacao se podrá llevar un mejor control para el aumento de la cosecha.

Se valida también que en estas fincas no hay tecnificación para el cultivo y cosecha del cacao, es por esto que el proyecto planteado en este trabajo de titulación dará apertura a comparativos y constantes desarrollos de prototipos que permitirán contar con información meteorológica automatizada en tiempo real, que ayudaría al productor a tomar decisiones oportunas en el manejo de cultivos para librar de mejor manera los riesgos climáticos que representan las olas de calor, vientos fuertes, sequías e inundaciones; y también para obtener los máximos beneficios de condiciones climáticas favorables para la obtención de altas cosechas.

La importancia de este trabajo de investigación es muy alta para el sector agrícola de

la costa ecuatoriana debido a que plantea e implementa la tecnificación del cultivo del cacao nacional mediante dispositivos IoT y hardware de bajo costo, que puede implementarse en las fincas y haciendas de los pequeños productores.

Así mismo es de alta importancia para el estudiante de la carrera de ingeniería de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil ya que tendrá una investigación y prototipo IoT a su disposición en el laboratorio de telecomunicaciones para prácticas de redes de sensores y monitoreo a través del internet de las cosas.

1.2. Antecedentes

Uno de los desafíos en el área de la investigación de telecomunicaciones es el desarrollo de prototipo basados en el internet de las cosas, utilizando elementos de hardware de bajo costo como Raspberry Pi, ESP32 y sensores, que conectados de la mejor manera y configurados correctamente, realizan una comunicación de datos que podrán ser monitorizados de una manera flexible y económica.

Este tipo de prototipos para la monitorización de climas aplicados a la agricultura beneficiará de mejor manera al pequeño agricultor de cacao, el cual ayudará a una mejor selección de terrenos para la siembra, un mejor cuidado durante su etapa de crecimiento con la finalidad de obtener una cosecha considerable, gracias a la tecnificación utilizando dispositivos IoT.

Varios trabajos de investigación se han desarrollado para la creación e implementación de este tipo de prototipos aplicados a la agricultura uno de ellos es el estudio realizado por Muhammad Faiz Mohamad Jaafar donde se utilizan dispositivos IoT como Raspberry pi y sensores para el riego por goteo de un vivero de cacao en Malasia. El sistema inteligente de monitoreo de cacao que usa IRT para riego automático por goteo está diseñado creando condiciones óptimas de humedad del suelo para facilitar el crecimiento saludable de las plantas a través de frecuencias de riego adecuadas. Con un Raspberry Pi 3 Modelo B, el usuario puede monitorear la humedad del suelo en el vivero de cacao y la máquina de riego a través de la red. (Mohamad Jaafar, Hussin, Rosman, Kheng, & Ja'Far Hussin, 2019)

Aplicaciones IoT para la agricultura es un tema innovador y nuevo en el Ecuador es por este motivo que se propone en este trabajo de titulación el diseño e implementación de un sistema de monitorización meteorológico agrícola mediante Raspberry Pi, ESP32 y sensores que ayudarán a la tecnificación del cultivo de cacao en la costa ecuatoriana.

1.3. Importancia y alcance

Con el aporte de esta propuesta, los agricultores de varios sectores de la costa ecuatoriana se verán beneficiados ya que se contará con elementos de bajo costo para la monitorización de clima que ayude a la siembra y cultivo del cacao, de igual manera se verá beneficiados los estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones los cuales podrán practicar los conocimientos adquiridos en las diferentes materias aplicando el internet de las cosas y las telecomunicaciones en general.

Con este aporte se fomentará la investigación en el campo de la tecnificación agrícola utilizando dispositivos IoT para la monitorización del cultivo del cacao en la costa ecuatoriana.

1.4. Delimitación

El trabajo de investigación “Diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable para el monitoreo de parámetros ambientales en cultivos de cacao mediante Raspberry PI” se realizará e implementará en el domicilio del autor de este trabajo de investigación Danny López ubicado en el sector de la ciudadela Sopeña en el sur de Guayaquil.

Posterior a las pruebas y estudio se prevé realizar entrega del prototipo al laboratorio de telecomunicaciones del edificio F de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en la ciudad de Guayaquil, barrio Cuba dirección Chambers 227 y 5 de julio y su desarrollo investigativo será por un año, se pretende finalizar el trabajo de investigación en el mes de marzo del 2021.

1.5. Beneficiarios de la propuesta

El primer beneficiario es el pequeño agricultor que siembra y cosecha cacao de manera rudimentaria, ya que ayudará a obtener una mejor producción del cacao al tener una herramienta que le permita monitorizar constantemente su producto con el fin de evitar pérdidas ya sea por el clima o por alguna plaga que se desarrolle por exceso de humedad o calor.

En el ámbito educativo aporta significativamente en la preparación del futuro ingeniero en telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil ya que el alumno se preparará en las nuevas tecnologías del internet de las cosas, y pondrá en práctica mediante un manual de uso del prototipo de cómo se obtiene los datos y se envían a la placa PCB que contiene el ESP32 y el GSM y Raspberry Pi para su posterior monitorización.

1.6. Propuesta de solución

La propuesta de este proyecto de investigación consiste en el diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable para el monitoreo de parámetros ambientales en cultivos de cacao mediante Raspberry pi, ESP32, módulo GSM y el internet para el envío de la data que obtienen los sensores para su posterior análisis en la nube, utilizando herramientas web de monitorización como ThinkSpeak.

Este prototipo meteorológico será implementado en primera instancia para pruebas e investigación en el domicilio del autor de la tesis, posterior a los ensayos y pruebas y una vez concluida la investigación será trasladada al laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil para prácticas de los estudiantes de la carrera de telecomunicaciones.

1.7. Innovación e impacto del proyecto

En este proyecto de titulación se propone realizar el diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable para el monitoreo de

parámetros ambientales en cultivos de cacao mediante Raspberry pi. Su desarrollo tiene un nivel de innovación alto debido a que se realizará el prototipo utilizando hardware de bajo costo como Raspberry PI, ESP32, Shield GSM y sensores para la captura de señales de importancia para la monitorización de ambiente, suelo, viento, etc. El impacto del proyecto es alto y permite cimentar las bases mediante un prototipado para la fabricación de estaciones meteorológicas móviles que pueden ser a futuro la base para el desarrollo de equipos comerciales que se utilice para la instalación en fincas y haciendas para el correcto monitoreo del crecimiento de los cultivos del agricultor.

1.8. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable para el monitoreo de parámetros ambientales en cultivos de cacao utilizando hardware de bajo costo como Raspberry PI y Arduino.

1.9. Objetivo específico

- Diseñar un prototipo de estación meteorológica agrícola mediante hardware libre como Arduino y Raspberry PI.
- Implementar un sistema autosostenible en el prototipo mediante paneles solares.
- Estructurar el hardware utilizando tarjetas Arduino y Raspberry PI para la obtención de los parámetros meteorológicos como temperatura ambiente, humedad ambiente, temperatura de suelo, velocidad del viento, dirección del viento, cantidad de lluvia, cantidad de rayos UV y humedad del suelo.
- Configurar una APP para la visualización en un móvil de los parámetros obtenidos por la estación meteorológica agrícola.
 - Configurar un enlace inalámbrico GSM para el envío de datos de los sensores mediante mensajes de alerta SMS y configurar un sistema de monitorización en la nube para la visualización vía web.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Historia del cacao en el Ecuador

El nombre científico del cultivo es *Teobroma cacao*, (del núcleo familiar de las Esterculiáceas), cuyo nombre nace de la expresión “xocolatl” de los Mayas, o de la lengua nahua (un conjunto descendiente de los mayas), con la expresión cacáhua, y cuyo sentido es “alimento de los Dioses”. Es oriundo de la selva amazónica de los andes septentrionales. Dichos conceptos denotan los principios geográficos de la especie y la utilización alimenticio ancestral de su fruto.

“Hacia 1600 la recolección y explotación del cacao constituía uno de los rubros relevantes de actividad de la vieja provincia de Guayaquil. Alrededor de 9 barcos salían anualmente del puerto transportando cacao, en especial a México, después de la quiebra de la producción guatemalteca hacia 1580.

Desde 1779 se asiste al primer enorme auge cacaotero y que duraría hasta alrededor de 1842. En 1789 el monarca Carlos IV da el permiso para cultivar y exportar el cacao en la zona que más adelante se constituiría en Ecuador. Ello proveería un fomento al cultivo, que se difundió exitosamente en el territorio. Resultado de las reformas borbónicas, las exportaciones del grano pasaron de 56 mil a 157 mil en 1843.

España se constituyó entonces en el primer mercado de estas exportaciones, inclusive luego de la libertad, hasta que el desarrollo del segundo periodo de la revolución industrial marcó el reemplazo de la Matriz colonial por Inglaterra y Alemania. En dichos territorios la demanda crece sustantivamente en el lapso del desarrollo industrial.

El primer auge cacaotero en el Ecuador se basa en las posibilidades del mercado externo, y en la movilización de la fuerza de trabajo serrana, producto de las reformas comerciales que afectaron la economía “*obrajera*”. (Miguel Vassallo, 2015)



Figura 2.1 Cacao fino de aroma ecuatoriano

Fuente: (Anecacao, 2020)

Dichos cambios provocaron una fundamental migración hacia la costa, que ha sido sometida a la producción cacaotera. En la tercera década del siglo XIX había un número más grande de jornaleros que de pequeños propietarios en las regiones cacaoteras.

En este primer auge cacaotero en Ecuador se empezó a forjar la composición y dinámica económica y social del complejo del cacao que, en cierta forma, lo caracterizará a extenso plazo. El segundo periodo de la revolución industrial, en la primera mitad del siglo XIX, causó un efecto en la producción de cacao ecuatoriana, debido a que se aumentó la demanda de EE. UU. y Europa, a la vez que se desarrollaban los medios de transporte y, con ello, el negocio universal. (Miguel Vassallo, 2015)

Las exportaciones de cacao que iniciaron a triunfar colaboración en el mercado mundial desde 1860, incrementaron gracias a 3 componentes primordiales:

- La expansión de la demanda mundial de cacao
- La mano de obra barata con la que se contaba al interior del país
- Y porque se trataba de una actividad que no requería altos niveles de capital.

El cacao constituyó el primordial rubro de exportaciones a lo largo de todo el siglo XIX, empero solo a partir de objetivos de la década de 1870 empieza a dominar las exportaciones, representando, a partir de entonces, bastante más de ambas terceras piezas del costo de estas

En consecuencia, el gran auge cacaotero abarca el período 1890 - 1910. Ecuador fue el mayor exportador mundial de cacao desde 1880 hasta 1890, constituyéndose en “la verdadera época del gran auge de la pepa de oro”. (Miguel Vassallo, 2015)



Figura 2.2 Hacienda de cacao Esperanza – Los Ríos

Fuente: (Anecacao, 2020)

Al inicio del lapso del auge cacaotero son las naciones latinoamericanas los productores del cultivo. Dominicana producían el 56% del cacao mundial. Y, como dice Chiriboga, “esta situación privilegiada de productores ‘independientes’, no sujetos a dominación colonial directa, permitió justamente el crecimiento creciente del costo de cacao en el mercado mundial y la absorción de una secuencia de alquilas monopólicas a causa de los plantadores y hacendados latinoamericanos.

Los costos del cacao en el mercado mundial subieron hasta principios del siglo XX, lo que iba en oposición con la evolución del costo de otras materias primas

importadas por las naciones centrales, lo que causó un plan de las potencias coloniales para descargar el costo. Las organizaciones industriales y comerciales se interesaron en el desarrollo de la producción en las colonias, como mecanismo de abaratamiento de los costos y la separación de las alquilas monopólicas del suelo.

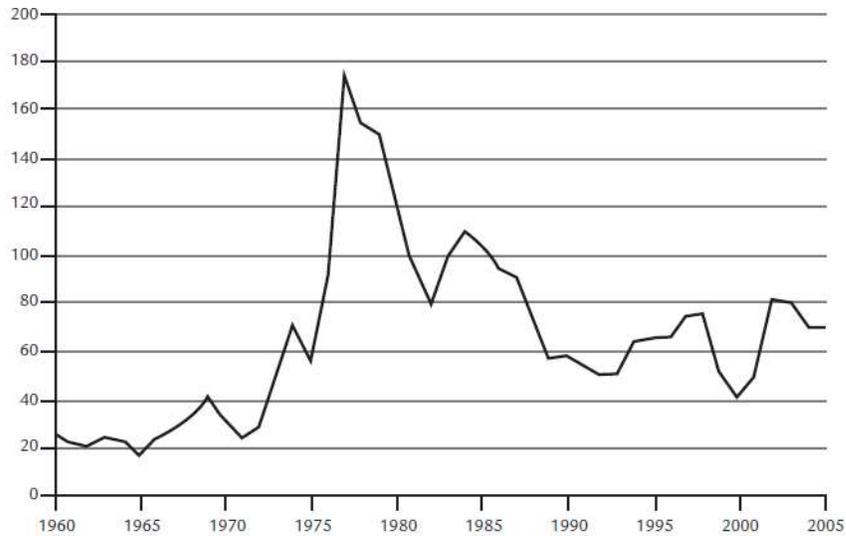
La producción mundial de cacao se aumentó en 372% entre 1903 y 1924, producto del incremento del cultivo en las colonias 20, los cuales en 1903 aportaban el 20% de la producción y en 1924 contribuían con el 56% de la producción universal.

El acceso al mercado mundial del cacao de Malasia, más que nada Costa de Marfil e Indonesia,⁴ además del notorio aumento de este producto en Brasil, produjo una saturación del mercado y el bajón de los costos.

Asimismo, en 1897 se detectó la patología de La Mancha en los cacaos ecuatorianos, la que quizás fuese la patología fungósica exitosa luego como monilia. En 1914 la monilia se extendió al grupo de la Costa cacaotera y siguió su extensión apresurada en los años siguientes. Entre 1915 y 1920 la escoba de bruja y la monilia, así como el fin de la renta forestal, perjudicaron las plantaciones y su producción.

Los rendimientos y los costos reducían, un tipo de gastos médicos proporcionados por el personal médico. "Crisis económica", 1929, "Crisis económica", "Pérdida patrimonial" (Pigache y Bainville, 2007: 187). 40.000 entente 1915 y Productos de cacao producidos en 1919 Universidad Estatal La pistas de Sigas de Pasado, liderado por el núcleo de transformación comercial, como explicaremos más adelante de la Corporación Ecuatoriana de Exportación Agrícola del Cacao.

El origen de la crisis agrícola en Nuevo México y las ciudades centrales de Ecuador fue en las décadas de 1950 y 1960: cultivo y exportación de banano. El tranvía de 1948 y el tranvía importado de 1965. Los orígenes de Efectivamente, Bananera es la que y Las Laque introdujeron el capitalismo moderno, como también el pago asalariado a trabajadores campesinos, modal ida hasta ese hacen es entonces en el casi nula.(Miguel Vassallo, 2015)



Fuente: ICCO, 2006, tomado de Pigache y Bainville, 2007: 192.

Figura 2.3 Precio internacional del cacao 1960 – 2005

Fuente: (Miguel Vassallo, 2015)

En la década de los ochenta la producción de cacao se estabilizó en alrededor de 80.000 t/año, en una superficie cultivada de aproximadamente 360.000 ha. A mitad de la década de los años 2000 se ubica en las 100 mil t/año. (Miguel Vassallo, 2015)

En el año 2011 la superficie sembrada fue de 521 mil ha con una cosecha de 224 millones de toneladas; un Cacao Arriba (un Cacao Arriba) con una población del 80%, Ministro de Agricultura.

Tabla 2.1 Exportaciones del cacao desde el año 2008

	Millones USD FOB			Toneladas		
	En grano	Elaborados	Total	En grano	Elaborados	Total
2008	216 481	73 778	290 259	86 370	20 136	106 507
2009	342 633	60 001	402 634	126 966	17 014	143 980
2010	349 920	74 993	424 912	116 242	17 281	133 523
2011	473 606	112 914	586 520	158 465	23 730	182 194
2012	344 897	109 603	454 500	146 873	25 859	172 731
2013*	373 398	94 501	467 900	157 208	22 954	180 162

*Observación: el año 2013 presenta datos provisorios de enero-noviembre.

Fuente: Elaborado por Miguel Vassallo con datos del Banco Central del Ecuador.

Fuente: (Miguel Vassallo, 2015)

Actividades importantes que se pueden continuar, actividades que no tienen historia que cambiar, se pueden realizar en bananos y plátano, camarones y otros productos de la pesca, flores e, indudablemente, el petróleo.

Tabla 2.2 Principales exportaciones ecuatorianas, sin petróleo

Años	Millones USD FOB		
	Banano y plátano	Camarón	Flores
2008	1 640 528	712 724	557 560
2009	1 995 654	664 419	546 701
2010	2 032 769	849 674	607 765
2011	2 246 465	1 178 389	675.679
2012	2 078 402	1 278 399	713 502
2013 (enero-noviembre)	2 145 426	1 619 021	762 348

Fuente: Miguel Vassallo, en base a información del Banco Central del Ecuador.

Fuente: (Miguel Vassallo, 2015)

2.2. Producción del cacao en el Ecuador

Ecuador produce el sabor ecuatoriano del cacao en polvo y se sustenta en el 62% del mercado mundial, la empresa que produce y opera debe distinguirse de los prolíficos productores de República Dominicana. Estos factores, sumados al alejamiento de las políticas que promueven y apoyan la producción, han generado una situación de riesgo que llevó al MAGAP a adoptar una política pública para reactivar la industria, que se viene implementando desde 2011. El sabroso cacao o sabor ecuatoriano tiene excelentes características de aroma en el mundo, por lo que es uno de los favoritos de chefs y chocolateros.

Los datos anunciados por la GIZ a 2010 muestran que la tasa de crecimiento anual del negocio de chocolate de especialidad (básicamente chocolate negro con alto contenido e ingredientes de cacao) es del 35%, lo que coincide con el relanzamiento del nicho de mercado de cacao de especialidad. Como orgánicos, comercio justo,

Rainforest Alliance y cacao de origen-calidad.

La producción de cacao de Ecuador se ubica en 23 de sus 24 provincias y se produce como un "monocultivo" o como mano de obra relacionada con otras especies. En las provincias costeras (Los Ríos, Guayas, Manabí, Esmeraldas y El Oro), las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes y las provincias nororientales del Ecuador (Sucumbíos, Orellana y Napo) se ha encontrado una excelente fusión del cultivo del cacao. . Se estima que, en las provincias de Orellana y Sucumbíos, en los últimos años, como uno de los principales proveedores de cacao en dos a tres años, el área de cultivo de cacao del país ha alcanzado cerca de 20.000 hectáreas, constituyendo el Cacao de la región. Se utiliza para el transporte, por otro lado, la región sureste, especialmente la provincia de Zamora Chinchipe, ha ido ingresando paulatinamente en el mapa de los países productores de cacao Nacional Fino o Aroma.

Una pieza destacable es que la elaboración de cacao en el Ecuador está dominada por unidades productivas entre pequeñas (20 has o menos) y medianas (de crecidamente de 20 a 50 has). El 88% del total unidades productivas (UPAs) y el 73,4% de la plaza cultivada (según datos del Censo Nacional de Producción 2000) pertenecen se ubican en esas categorías. Además, la distribución relativa de la productividad de cacao según tamaños de las UPAs indica que el porcentaje de elaboración como "cultivo solo" tiende a ser superior entre las fincas medianas y de superior tamaño (más de 50 has). Por otra parte, el porcentaje de cacao como "cultivo asociado" tiende a ser menor en las fincas de mínimo tamaño (de 20 has o menos). (CEPAL, 2015)

A continuación, se detallan datos importantes actualizados con respecto a la elaboración del cacao al año 2018, información encontrada en el MAGAP (Ministerio de agricultura y ganadería del Ecuador)

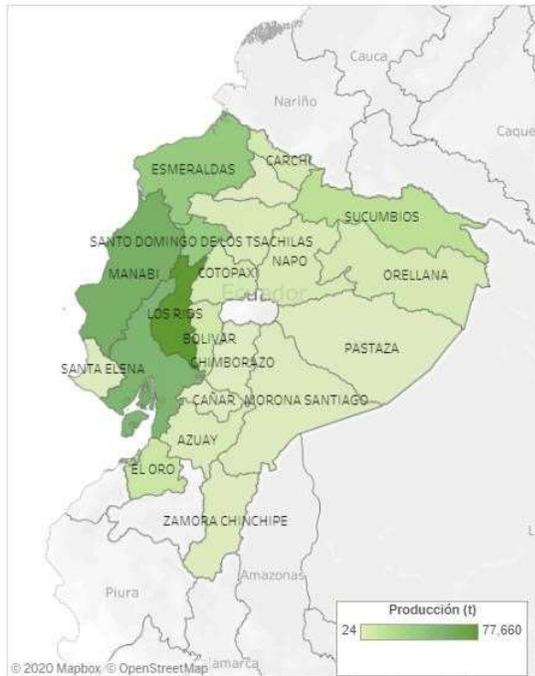
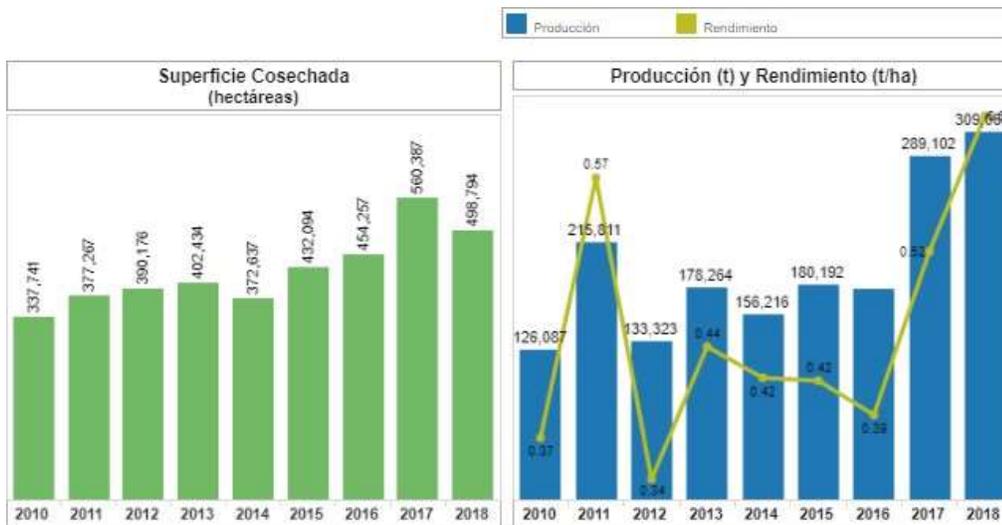


Figura 2.4 Mapa de la producción Nacional de cacao al 2018

Fuente: (MAGAP, 2020b)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - ESPAC y MAG

Nota: Desde el año 2017 la información de superficie, producción y rendimiento corresponde a datos generados por el MAG.

Figura 2.5 Superficie cosechada (hectáreas), producción y rendimiento

Fuente: (MAGAP, 2020b)



Nota: El ranking incluye únicamente las 5 principales provincias

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - ESPAC

Figura 2.6 Rendimiento a nivel nacional del cacao, participación en la producción nacional 2018 cacao (almendra seca)

Fuente: (MAGAP, 2020b)

En el año 2018 las exportaciones mundiales tuvieron un desarrollo del 8.9 % en semejanza con el año 2017, de igual proceder las importaciones mundiales tuvieron un aumento del 6.5 %. El comportamiento de los precios internacionales fue efectivo incrementado 13 % en relación con el año 2017.

La estacionalidad de la productividad de cacao para el año 2019 fue en superior proporción a partir del período de mayo. Es así como, los precios reaccionaron directo al proceder de la productividad observando en la figura 1 como el período de mayo fue el que presentó el superior precio tanto internacional como nacional. A nivel nacional la productividad incrementó 3 % relación al año 2017, fenómeno que incidió en un mayor porcentaje de exportaciones aportando a la ponderación comercial del país.

Precios USD Dólares - Precio Productor. - 2018



Presentación: **Internacional:** 1 Tonelada / Cacao Grano de Cacao / Londres Reino Unido. **Productor:** Quintal aprox. 100 lbs / Cacao Fino de Aroma - Almendra Seca

Fuente: Precios Productor y Mayorista MAG - SIPA; Precios Internacionales: Varias fuentes

Figura 2.7 Precio productor de cacao en quintal

Fuente: (MAGAP, 2020b)

El precio internacional del cacao en grano en Londres para el año 2018 incrementó 13 % en relación con el año 2017; esta rutina se debe principalmente a una desvalorización de la cosecha fundamentalmente de los países productores de África, Asia y Oceanía.

Los precios mensuales del año 2018 tuvieron un desarrollo apresurado hasta mayo alcanzando su valor superior del año. A partir de junio, el precio disminuyó hasta agosto, y el resto del año se mantuvo con una diferenciación creciente mínima. En la figura 3 se observa la estacionalidad de los precios que van de la mano con la salida de la productividad. Es asimismo como en mayo se observó la tasa más alto del año (USD 2,660/t).(MAGAP, 2020a)

Precios USD Dólares - Precio Internacional. - 2018



Presentación: **Internacional:** 1 Tonelada / Cacao Grano de Cacao / Londres Reino Unido. **Productor:** Quintal aprox. 100 lbs / Cacao Fino de Aroma - Almendra Seca

Fuente: Precios Productor y Mayorista MAG - SIPA; Precios Internacionales: Varias fuentes

Figura 2.8 Precio internacional del cacao fino de aroma en tonelada

Fuente: (MAGAP, 2020b)

Tabla 2.3 Datos de comercio exterior referentes al cacao fino de aroma ecuatoriano

Comercio Exterior y Crédito Público - 2018		
Exportaciones	[USD]	777,032,572
Peso Neto Exportaciones	[t]	317,882
Importaciones	[USD]	41,123,922
Peso Neto Importaciones	[t]	8,546
Crédito Público	[USD]	25,880,210

Fuente: BCE, CFN, BanEcuador, MAG

Indicadores Alimenticios de la Hoja de Balance de Alimentos HDBA - 2018

Fuente: (MAGAP, 2020b)

Los principales países importadores de cacao en grano fueron: Países Bajos con el 28 % del comercio mundial, seguido por Alemania 11 %, Estados Unidos 10 %, Malasia 8%, Indonesia 6%, Bélgica 6 %, Francia con el 4 % y el resto con el 27 %.

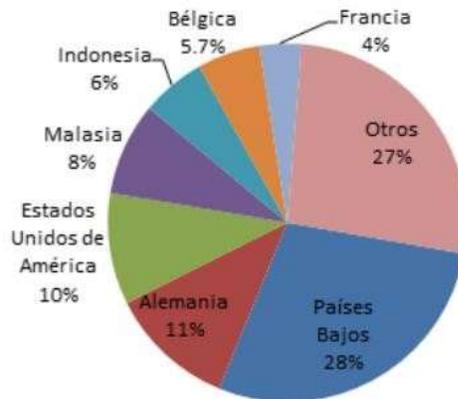


Figura 2.9 Participación de importaciones mundiales de cacao en grano por países, año 2018.

Fuente: TRADEMAP, partida arancelaria 1801

A nivel mundial el Ecuador no representó una cantidad considerable de exportaciones con respecto a países africano. Se presenta a continuación la participación de los países en la producción a nivel mundial en el año 2018. Los principales productores de cacao fueron: Costa de Marfil con el 39 % de la producción mundial, seguido por Ghana con 17 %, Indonesia 13 %, Nigeria con 6.3 %, Camerún 6 %, y Brasil con 4 %.

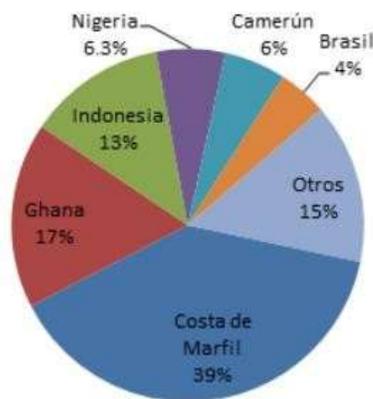


Figura 2.10 Participación de producción mundial de cacao para el año 2018.

Fuente: FAOSTAT

El tiempo promedio del fabricante de cacao es de 57 años. En cuanto al género, el 79 % corresponde a hombres y el 21 % a mujeres. Asimismo, el 62 % de productores

han cursado tan solo la instrucción primaria.

Respecto a la tenencia de la tierra, en el año 2018, el 87 % de los productores son dueños de las plantaciones de cacao; mientras que, el 2.6 % es arrendatario.

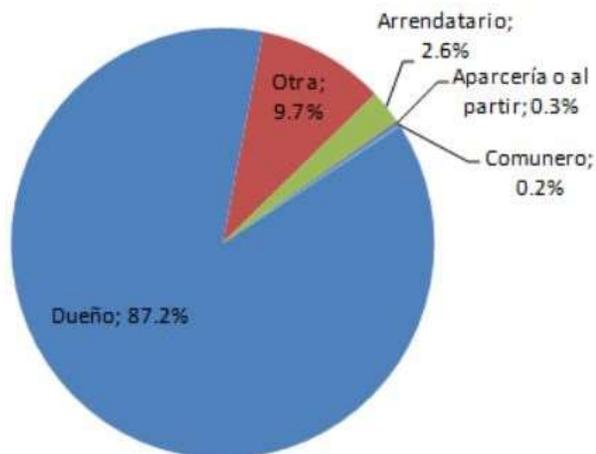


Figura 2.11 Tenencia de la tierra de productores de cacao 2018.

Fuente: INEC - ESPAC

Para el año 2018, la productividad del cultivo a nivel nacional tuvo un aumento del 3 % en relación con el año anterior. De similar proceder, la superficie cosechada y la utilidad presentaron crecimientos del 2 % y 3 %, respectivamente. Como se observa en la Figura 18, la superficie modelo un estilo cambiante mientras el periodo analizado y registrando la superior superficie plantada en el año 2018. El crecimiento registrado en los últimos años se debe al desarrollo de plantaciones de cacao, especialmente de la diversidad CCN51 y a la variación de cultivos de cacao fino de aroma que promueve el gobierno.

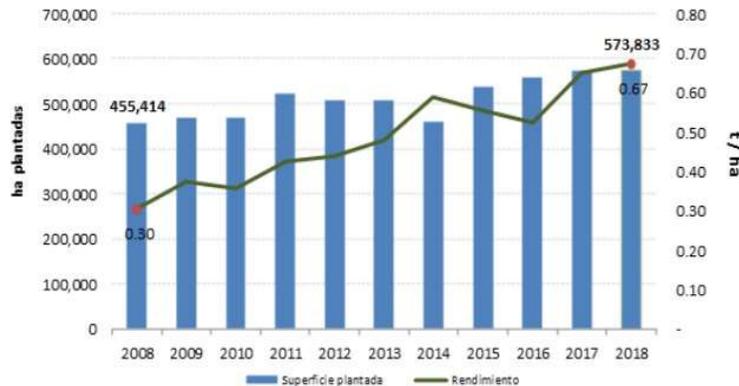


Figura 2.12 Superficie y rendimiento nacional de cacao seco durante los años 2008 a 2018.

Fuente: Superficie plantada INEC - ESPAC 2017. Producción MAG - HDBA 2017.

En cuanto al utilidad, se observa una conducta aumentada a partir el año 2007 hasta el año 2014, seguidamente una ligera desplome en el año 2016 y un renacimiento en el 2017 y 2018, que se registró un rendimiento nacional de 0.67 t/ha. Las provincias productoras que presentan una mayor superficie son: Los Ríos (133,219 ha) y Manabí (126,972 ha). La provincia crecidamente productora fue Los Ríos con el 26 % del total de productividad nacional y con una utilidad de 0.67 t/ha.

Tabla 2.4 Superficie, producción y rendimientos provinciales

PROVINCIA	2018		
	Superficie (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Total Nacional	573,833	385,863	0.67
LOS RÍOS	133,219	98,950	0.74
MANABÍ	126,972	62,046	0.49
GUAYAS	96,969	96,748	1.00
ESMERALDAS	73,243	38,031	0.52
Otros	143,430	90,088	0.63

Fuente: Superficie plantada INEC - ESPAC 2018. Producción MAG - HDBA 2018

El establecimiento de una hectárea de cacao tiene un rango de precios entre USD 1,972 y 3,132 dependiendo de la zona del cultivo; de los cuales, el 55 % se destina a la siembra (incluye la adquisición de plantas de cacao y mano de labor), el 15 % a

la preparación de terreno y el 12 % a las labores culturales, en donde se incluye actividades como el control de maleza. El 17 % restante es destinado a la fertilización y control fitosanitario. El costo de mantenimiento se sitúa entre USD 886 y 1,508/ha. La cosecha se da a partir del tercer año y esta actividad representa el 22 % del precio total de mantenimiento.

Tabla 2.5 Costos porcentuales de cacao fino de aroma

ACTIVIDAD	COSTOS PORCENTUALES DE CACAO FINO DE AROMA		
	ESTABLECIMIENTO		MANTENIMIENTO
	Primer año	Segundo año	Tercer año
	%	%	%
Preparación del terreno	15	-	-
Siembra	55	-	-
Fertilización	10	13	13
Labores Culturales	12	18	18
Control de Fitosanitario	7	7	8
Cosecha	-	-	22
PORCENTAJE TOTAL	100	39	61

Fuente: MAG-SIPA, BanEcuador.

Las principales razones por las que se perdió la elaboración de cacao en la provincia de Los Ríos son por plagas / enfermedades con el 25 %, seguido de sequías o heladas con el 18 %, época de la plantación 10 % y por prácticas inadecuadas o imperfección de prácticas con el 8 %.

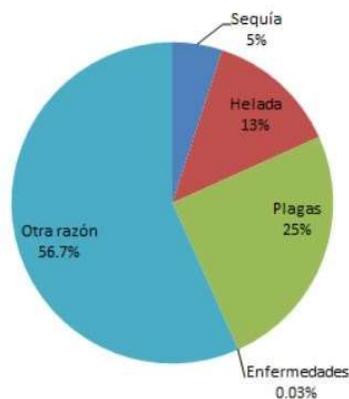


Figura 2.13 Pérdidas de la producción en las plantaciones de cacao de la provincia de Los Ríos 2018.

Fuente: INEC - ESPAC.

2.3. Zonificación agroecológica del cultivo de cacao en el Ecuador

La intervención del cacao ha sido significativa en la economía ecuatoriana a partir la fase de la colonia y fue factor fijo en el progreso social, económico y político del Ecuador, a partir de la independencia.

En el Ecuador al año 2012 la superficie cultivada de cacao fue de cerca de 507,722 hectáreas, de las cuales el 84% es cultivado como monocultivo y el sobrante se encuentra asociado con otras especies como frutales principalmente. La productividad anual es de 133,323 Tm (toneladas métricas) (INEC-ESPAC, 2012).

De la amplitud de productividad nacional, cerca del 70% se exporta en grano, el 25% es absorbido por la industria de semielaborados y el 5% por la industria artesanal chocolatera del país.

La superior elaboración cacaotera de nuestro país se concentran en las provincias de: Guayas, Los Ríos, Manabí y Esmeraldas, en donde se produce cacao “nacional o fino de aroma” y en el último período ha tomado gran fuerza el cultivo de la diversidad “complejo cacao nacional 51 (CCN51)” por presentar cierta resistencia al ataque de plagas y enfermedades.

Según datos del Banco Central del Ecuador, en 2013 (enero a septiembre) se vendió principalmente a Estados Unidos y México cerca de 25,751 Tm y a Alemania 1,305 Tm, lo que representó un ingreso de 261,497 miles de dólares.

La zonificación de cultivos consiste en la delimitación de áreas biofísicas y económicamente homogéneas que puedan reconocer a un uso determinado del suelo, con prácticas de administración similares, bajo contexto naturales y la influencia de polos de progreso en apoyo a la producción.

La zonificación agroecológica económica es una herramienta de análisis que permite o se utiliza en la toma de decisiones para una adecuada planificación de la producción agrícola, mediante el fomento y extensión de un cultivo determinado.

En relación con el estudio del MAGAP se realizó la zonificación agroecológica económica del cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Ecuador continental a escala 1:250 000, que contribuya como instrumento de estudio para una adecuada planificación agrícola, el clasificación territorial y mejoramiento de la productividad del cultivo. (MAGAP, 2014)

Para el análisis de zonificación se tomaron en cuenta las siguientes variables que determinan un correcto cultivo del cacao fino de aroma en el Ecuador

Tabla 2.6 Requerimientos agroecológicos para el cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Ecuador continental

FACTOR	VARIABLE	APTITUD AGROECOLÓGICA			
		ÓPTIMA	MODERADA	MARGINAL	NO APTA
Suelo	Pendiente	0-25%	25-50%	50-70%	>70%
	Textura	Franco, Franco arcilloso (> a 35%), Franco limoso	Limoso, Franco arcilloso (< 35% arcilla), Franco arcillo arenoso, Franco arcillo limoso, Franco arenoso (fino a grueso), Arcillo arenoso, Arcillo limoso	Arcilloso, Arcilloso (> 60%)	Arenosa (fina, media, gruesa), Arenoso francoso
	Profundidad	Profundo	Moderadamente profundo	Poco profundo	Superficial
	Pedregosidad	Sin	Pocas	Frecuentes	Abundantes, Pedregoso a rocoso
	Drenaje	Bueno	Moderado	(-)*	Mal drenado, Excesivo
	Nivel freático	Profundo	Medianamente profundo	Poco profundo	Superficial
	pH	Ligeramente ácido, Neutro	Ácido, Moderadamente alcalino	(-)*	Muy ácido, alcalino
	Toxicidad	Sin o nula	Ligera	Media	Alta
	M.O	Muy alta, Alta	Media	Baja	Muy baja
	Salinidad	Sin, Ligera	Media	Alta	Muy alta
Fertilidad	Alta	Media	Baja	Muy baja	
Clima	Precipitación (mm/año)	1200 - 3000	1000-1200	800 - 1200	< 800>4000
	Temperatura (°C)	18-26	16-18	15-16	< 15
	Altitud (m.s.n.m.)	0 a 500	(-)*	(-)*	>500

Fuente: (MAGAP, 2014)

Tabla 2.7 Zonificación agroecológica económica del cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Ecuador continental

Categoría de Potencialidad	Descripción	Superficie y % del Total Nacional	Superficie y % provincial por categoría de potencialidad		
			Provincia	(ha)	%
Alta	Conjuga áreas donde existen zonas agroecológicamente Óptimas y que poseen alta y media accesibilidad a servicios e infraestructura de apoyo a la producción	377,931 ha 3.76%	Los Rios	150,972.87	39.95
			Morona Santiago	75,431.68	19.96
			Guayas	75,266.20	19.92
			Sucumbios	23,140.95	6.12
			Manabí	15,029.29	3.98
			Zamora Chinchipe	13,369.35	3.54
			Esmeraldas	9,831.95	2.6
			Santo Domingo de los Tsáchilas	4,861.53	1.29
			Cañar	4,523.75	1.2
			Bolívar	2,647.36	0.7
			Zona No Delimitada	1,727.09	0.46
			Cotopaxi	843.29	0.22
			Loja	204.68	0.05
			Chimborazo	81.41	0.02

Fuente: (MAGAP, 2014)

2.4. Tipos de cacao en el Ecuador

El cacao se clasifica principalmente en tres variedades:

2.4.1. Cacao forastero

Es procedente de África y por esto se le dio su nombre, porque “venía de afuera”. El cacao forastero es el crecidamente cultivado en el mundo, abarcando un total de 80% concerniente la fecundación mundial de cacao. Se caracteriza por su aroma ácido y sabor astringente.

Su planta produce en superior abundancia que el criollo y es más invulnerable a las enfermedades. Los frutos del forastero se caracterizan por ser redondeados y casi lisos. A este cacao no se lo considera como “cacao fino” y por esto se lo mezcla con cacaos superiores para optimizar su agrado. La única distinción de cacao fino forastero es el denominado Nacional o Arriba que se cultiva tan solo en el Ecuador y posee un extraordinario aroma y sabor. (Anecacao, 2020)



Figura 2.14 Cacao forastero
Fuente: (Anecacao, 2020)

2.4.2. Cacao criollo

Los españoles lo bautizaron como “criollo” por surgir del nuevo mundo. Es el más delicioso ya que posee un aroma y sabor superior a las otras variedades. Sin embargo, es más agotador de cultivar que los otros cacaos y es más apto a las enfermedades y cambios de temperatura. Sus frutos se caracterizan por ser alargados y puntiagudos. El cacao criollo representa el tercer lugar de la cosecha mundial, es decir el 5% aproximadamente.



Figura 2.15 Cacao criollo
Fuente: (Anecacao, 2020)

2.4.3. Cacao trinitario

Es una cepa híbrida que se originó al sembrar cacao forastero en suelos en el que habían marchitado árboles de cacao criollo, por esto tiene características de las dos variedades. Su nombre se debe a que se originó en la isla de Trinidad. A este cacao incluso se lo mezcla con otras variedades. Ocupa del 10% al 15% de la productividad mundial



Figura 2.4.3 Cacao trinitario

Fuente: (Anecacao, 2020)

2.4.4. Cacao CCN-51

Esta cepa es un clon que se consiguió en el Ecuador en 1965 al fusionar material genético de las variedades Trinitario y Forastero amazónico mediante doble mezcla. El efecto fue una diversidad de cacao de considerablemente alta calidad, buena fertilidad y sobre todo duro a enfermedades. Este cacao además tiene un alto contenido de grasa y por esto se lo utiliza industrialmente para eliminar su manteca.



Figura 2.16 Cacao trinitario

Fuente: (Anecacao, 2020)

2.5. Procedimientos para el cultivo del cacao

En el año 2016, el Ecuador produce alrededor de 253 000 toneladas métricas de cacao (*Theobroma cacao* L.). El 70% de la productividad, es estimado como cacao fino y de fragancia, con denominación “sabor arriba”. El primordial conflicto de la cadena de cacao es el bajo calidad de fabricación de las plantaciones de cacao del genotipo “Nacional”.

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) a través del Programa Nacional de Cacao y Café posee uno de los Bancos de Germoplasma de cacao crecidamente importantes a nivel mundial con más de 2500 accesiones colectadas en diferentes zonas. Dichas accesiones han venido siendo evaluadas con el fin de coincidir genotipos que presenten características de alta productividad, firmeza a las principales enfermedades que afectan al cultivo, ajuste a diferentes zonas agroecológicas y con excelentes atributos de calidad que siempre ha caracterizado al cacao Nacional fino y de fragancia proveniente de Ecuador.

Las evaluaciones de las colecciones de cacao han otorgado elegir genotipos como parentales en los programas de cruzamiento, dando como resultados híbridos con excelentes características y después fueron clonados para argumentar sus

particularidades. Como consecuencia final, ofrecerles a los agricultores del sector cacaoero nuevos clones de cacao con alta fertilidad, firmeza a las enfermedades y de alta calidad organoléptica. (INIAP, 2020)

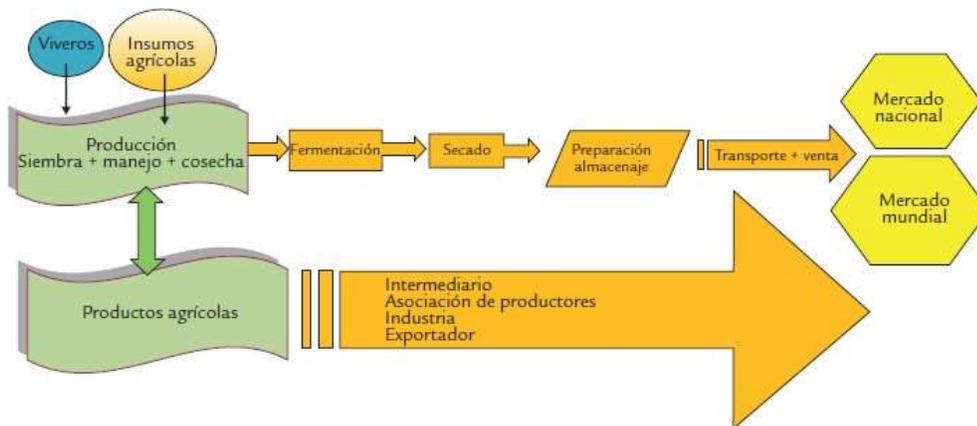


Figura 2.17 Proceso técnico del ciclo del cacao en la cadena

Fuente: (Miguel Vassallo, 2015)

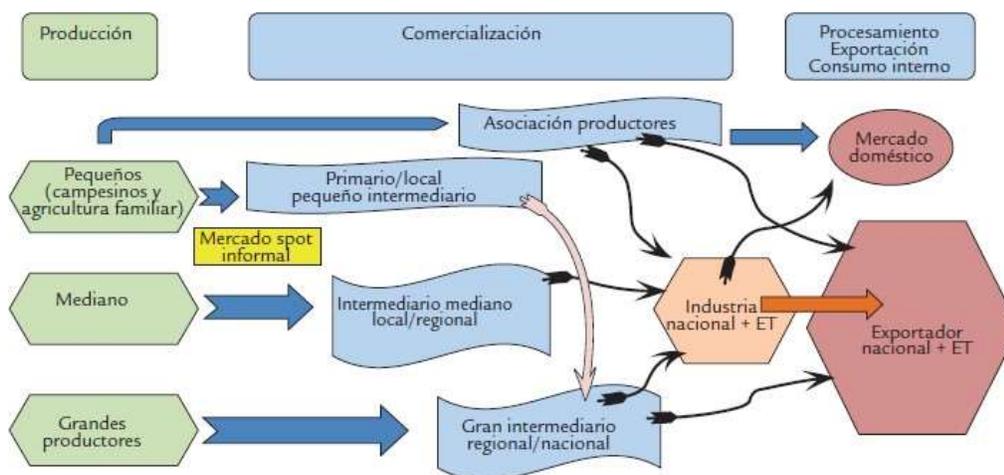


Figura 2.18 Cadena del cacao, procesos, actores y relaciones técnico – económica

Fuente: (Miguel Vassallo, 2015)

2.5.1. Materiales para la siembra de cacao

Tradicionalmente las huertas de Cacao en el Ecuador fueron sembradas con semillas de independiente polinización, muchas veces a excepción de elección previa, o seleccionadas empíricamente; dicha elección no tomaba en cuenta características deseables tales como alta fertilidad y aguante a enfermedades junto con la calidad ARRIBA.

Este tipo de selección de semillas ha dado como resultado huertos heterogéneos altamente susceptibles a enfermedades, alta incompatibilidad y baja productividad, pero aún más o menos conserva la calidad Arriba característica del país.

Actualmente, los híbridos recomendados provienen de al menos cinco materiales de cacao nacionales certificados, lo que puede aumentar el rendimiento de granos de cacao secos por hectárea en más de 20 qq.

Para uniformar el material de siembra y asegurar el éxito de la nueva siembra, actualmente se recomienda plantar clones, ya sea una rama o un injerto, se deben mezclar al menos 3 clones del mismo tipo durante el proceso de siembra. Este es el material recomendado:

EET- 95, EET- 96, EET- 103, EET – 544 y EET – 558.

Al sembrar un solo clon, existe un alto riesgo de pérdida de todo el bosque debido a problemas de enfermedades, especialmente la enfermedad del machete. Cabe mencionar que antes de elegir cualquiera de los materiales anteriores, se debe considerar su adaptabilidad al medio. Debido a la experiencia de campo de Anecacao, los clones EET-95, EET-96 y EET-103 se recomiendan principalmente porque son altamente adaptables a la mayoría de las condiciones climáticas importantes en Ecuador. (Anecacao, 2020)



Figura 2.19 Materiales de siembra de cacao

Fuente: (MAGAP, 2020b)

2.5.2. Condiciones Agroecológicas para la siembra de cacao

El desarrollo y desempeño de la planta de cacao está íntimamente relacionado con las condiciones ambientales del lugar a sembrar. Por tanto, los factores climáticos afectarán la producción de las plantaciones, por lo que para los cultivos las mejores condiciones de temperatura, humedad y luz deben ser las mejores. El tiempo de floración, brotación y cosecha se ve afectado por el clima. Por estos factores, es importante implementar un calendario agroclimático para lograr un crecimiento óptimo de los cultivos.

El viento constante puede provocar sequedad, caída de hojas e incluso la muerte de las plantas, factor que también determina la tasa de evapotranspiración del agua en la superficie del suelo. En una plantación con una velocidad de viento de 4 m / seg y casi sin sombras, tiene una fuerte capacidad de defoliación. Es necesario utilizar cortavientos para evitar daños, esto se puede hacer con variedades de frutas o madera, que se disponen alrededor de los granos de cacao. Sin embargo, se debe

considerar que la brisa debe fluir entre las plantas de cacao para renovar la masa de aire para aprovechar mejor el CO₂ y reducir la humedad excesiva, y en muchos casos, la humedad excesiva es la causa de la enfermedad fúngica. Fruta

El cacao crece desde el nivel del mar hasta los 800 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, las plantaciones cercanas al ecuador suelen crecer a altitudes superiores a los 1.000 metros y los 1.400 metros sobre el nivel del mar, por lo que la altitud no es un factor determinante del crecimiento óptimo de los cultivos.

La intensidad de la luz es otro factor decisivo en el cultivo del cacao, sobre todo porque afecta a la fotosíntesis. Durante las etapas de crecimiento de los cultivos, se recomienda sembrar otras plantas para dar sombra, porque las plantas de cacao en estas etapas son muy susceptibles a la luz solar directa. Se cree que una intensidad de luz inferior al 50% de la intensidad de luz total limitará el rendimiento, y cuando la intensidad de la luz es superior al 50%, aumentará el rendimiento. (Fedecacao, 2020)



Figura 2.20 Condiciones agroecológicas del cacao

Fuente: (MAGAP, 2020b)

Las plantas de cacao son muy sensibles a la escasez de agua y al anegamiento, por lo que un adecuado suministro y manejo de agua es fundamental para que las plantas lleven a cabo sus procesos metabólicos. En general, las precipitaciones son el factor climático más variable durante el año, una zona es diferente a otra, lo que determina la diferencia en el manejo de los cultivos.

La precipitación óptima para el cultivo del cacao es de 1600 a 2500 mm en áreas más cálidas y de 1200 a 1500 mm en áreas más frías y valles altos. En áreas con sequía severa, se recomienda regar para mantener el rendimiento.

El cacao se originó en las regiones tropicales, por lo que la temperatura es un factor muy importante porque está relacionado con el desarrollo, la floración y la fructificación. La mejor temperatura promedio para un buen crecimiento de los cultivos fluctúa entre 23 grados Celsius y 25 grados Celsius. Aunque puedes cultivar cultivos entre 15 y 26 grados centígrados.

La baja temperatura en la siembra del cacao afectará la velocidad de crecimiento vegetativo, el desarrollo del fruto y la intensidad de la floración. Cuando la temperatura es inferior a 21 grados centígrados, la floración es menor, pero cuando la temperatura alcanza los 25 grados centígrados, la floración es abundante. De manera similar, la baja temperatura afectará la actividad de las raíces y las temperaturas por debajo de los 15 grados Celsius absorberán agua y nutrientes, reduciendo así el rendimiento.

Las temperaturas en torno a los 30 grados centígrados afectan las raíces superficiales y limitan su capacidad de absorción.

La precipitación anual debe estar entre 1600 y 2500 mm.

2.5.3. Requerimientos de suelo para el cultivo de cacao

El suelo para el cultivo del cacao es preferiblemente plano y ligeramente inclinado, porque este tipo de tierra es muy fértil y, si se maneja bien, la erosión puede dañar seriamente la tierra. El suelo debe ser suelto y profundo para que las raíces se puedan distribuir sin dificultad, de modo que la raíz principal pueda penetrar fácilmente hasta una profundidad de 1,50 m.

El suelo más adecuado para el desarrollo es el aluvial, arcilloso y profundo, con subsuelo permeable. Los suelos negros suelen ser los mejores porque se lixivian menos. (15) “Los nutrientes del suelo son esenciales para el normal crecimiento de los cultivos. Los principales nutrientes que debe tener el suelo para la prosperidad de los cultivos de cacao son: nitrógeno, fósforo, potasio y calcio.

Está determinada por las condiciones climáticas, la topografía, la susceptibilidad a las inundaciones, la suficiente capacidad de retención de agua y la suficiente capacidad de ventilación del suelo. (15) Suele haber problemas de drenaje interno debido a la disposición del perfil del suelo. Por ejemplo, cuando tiene una textura arcillosa, el agua se mueve muy lentamente, lo que provoca un aumento de la humedad y enfermedades en el fruto del cacao. Por lo tanto, conviene se deben tomar medidas en lugares lluviosos La importancia de la gestión del agua.

El valor del pH en el suelo es una de las características más importantes, porque es un factor que determina la tasa de descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes. (1) Los suelos con acidez o pH entre 6.0 y 7.0 son los más adecuados para el cacao, pero su desempeño es muy pobre, pero también puede adaptarse al rango extremo de muy ácido a muy alcalino (4.5-8.5).



Figura 2.21 Vivero de cacao

Fuente: (MAGAP, 2020b)

2.5.4. Requerimientos climáticos y edáficos

Altitud: 15 a 800 msnm.

Temperatura: 24 a 25°C.

Precipitación: 1500 a 3000 mm.

Suelo: Fértiles, profundos y francos.

pH: 6.0 a 7.0.

2.5.5. Zonas de producción en el país

Distribuida en las provincias de Guayas, Los Ríos, Esmeraldas, Manabí, El Salvador, Santo Domingo, Santa Elena, Bolívar, Canal, Chimborazo, Azuay, Pichincha, Loja, Imbabura, Orellana, Napo, Pastaza, Zamora, Chinchipe, Morona, Santiago y Sucumbíos .

2.6. Climatología agrícola

En los términos más simples, la climatología se define como la ciencia del estudio del clima. Se basa en los principios básicos de la comprensión de cada elemento o variable que conforma el clima y sus interacciones, utiliza las estadísticas para convertirlo en información.

Su importancia radica en el impacto de diferentes variables climáticas en los seres vivos. Se utiliza para controlar y regular la temperatura de la actividad enzimática de innumerables organismos, o los riesgos ambientales, agrícolas y sociales provocados por comportamientos que no pueden ser controlados por las lluvias. Sin duda, juega un papel decisivo en diferentes actividades humanas, especialmente en la agricultura.

El tiempo se conceptualiza como la condición atmosférica en un momento específico, definido por el comportamiento de los elementos climáticos en ese momento. Por su parte, el clima son las características generales de la atmósfera especificadas según un conjunto de posibles condiciones meteorológicas.

Un ejemplo de clima es la necesidad de conocer la actividad de lluvia que puede ocurrir antes de que llueva para regresar a casa, y un ejemplo de clima es saber que las llanuras occidentales de una determinada área son más húmedas que las llanuras orientales. Su comprensión es esencial para la planificación agrícola en ambas áreas, porque serán significativamente diferentes.

La ciencia del estudio del clima se llama meteorología y sus métodos de análisis se

basan en modelos físicos y pronósticos, y respaldan decisiones tácticas y operativas en tiempo real. En lo que a climatología se refiere, se basa en datos estadísticos para tomar decisiones estratégicas y planes a largo plazo.

Dado que la información generada se puede utilizar en cualquier plan agrícola, la climatología comenzó a utilizarse como herramienta agrícola. Para generar esta información se debe recurrir a diferentes formas de registrar las variables climáticas existentes.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha establecido directrices sobre la mejor y más adecuada forma de registrar estos elementos y ha desarrollado el denominado Sistema Mundial de Información. El sistema consta de un conjunto de equipos e instrumentos especiales, que provienen de estaciones meteorológicas terrestres, globos meteorológicos, radares, sensores satelitales, aviones y barcos meteorológicos, etc., para recopilar, analizar y distribuir datos climáticos a nivel mundial.

Como se mencionó anteriormente, hay muchas formas de registrar las variables climáticas, como es el número de variables que la OMM ha establecido para medir, que puede contener hasta 50 elementos. Sin embargo, una pequeña parte de estas variables se utiliza con fines agrícolas. estos son:

- La radiación.
- La temperatura.
- La humedad.
- El viento.
- La precipitación.
- La evaporación.
- La nubosidad.
- La evapotranspiración.



Figura 2.22 Estación meteorológica para la agricultura

Fuente: (Informeagricola.com, 2020)

El tamaño del grupo de elementos climáticos que se medirá dependerá del propósito de la medición. Estos pueden ser registros por horas, diarios, mensuales, anuales, de diez años, etc.

La precipitación se registra como el agua que cae sobre una unidad de área, por lo que, expresada en milímetros, significa la cantidad de agua agregada en un metro cuadrado por litro de agua. Los otros elementos expresados en milímetros son la evaporación y la evapotranspiración, representan el mismo principio, pero la cantidad de agua requerida. La evapotranspiración es un término compuesto entre el agua que se evapora del suelo o de diferentes superficies de evaporación y el agua transportada a la atmósfera a través de los tejidos vegetales.

La radiación o energía en forma de ondas electromagnéticas liberada por el sol se puede registrar en varias unidades, la más común se registra por equipo, $\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ (calorías por centímetro cuadrado por minuto), este tipo de radiación que llega a la superficie de la tierra se llama radiación global. La temperatura del aire o la energía cinética de los átomos del aire se registra en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) o

Fahrenheit ($^{\circ}$ F), según el dispositivo.

La humedad se registra como un porcentaje (%), que representa la relación entre el vapor de agua y el espacio total en un momento dado. Si es viento, se registra en kilómetros, si es viento, se registra en km / h. Finalmente, la turbidez, que es la cantidad de nube en la cúpula imaginaria que cubre todo el espacio visible del observador, se registró en ocho octavos.

2.7. Estación meteorológica agrícola

Una estación meteorológica automatizada se refiere a una estructura o dispositivo equipado con sensores que responden a estímulos electrónicos. El sensor tiene la capacidad de registrar y recopilar información meteorológica automáticamente en tiempo real, de modo que pueda monitorear los cambios en la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar. y superficie de la hoja. Humedad, dirección y velocidad del viento, lluvia, humedad relativa, temperatura del suelo, presión atmosférica, etc.

Las estaciones meteorológicas que componen la red de estaciones agroclimáticas están equipadas con sensores para medir las siguientes variables:

- Temperatura del aire
- Precipitación
- Humedad relativa
- Radiación solar
- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Humedad



Figura 2.23 Estación meteorológica para la agricultura

Fuente: (Informeagricola.com, 2020)

Una estación meteorológica completa puede medir la temperatura, la humedad, la lluvia, el viento y la radiación solar. También determinan el número de días y el tiempo de frío.

- Evapotranspiración (ET_o)
- Velocidad y dirección del viento
- Lluvia
- Punto de rocío
- Radiación solar
- Temperatura del aire
- Humedad relativa

2.8. Variables físicas de medición de las estaciones meteorológicas agrícolas

Una estación meteorológica es un sistema compuesto por sensores, medios de comunicación y procesamiento de información, cuyo propósito es medir y registrar cualquier tipo de cambios físicos relacionados con el clima.

Las estaciones meteorológicas generalmente miden variables climáticas, como temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y precipitación, mientras que otras variables se miden con fines de investigación, como pirómetros, registradores

de helicópteros que miden sus horas de luz diarias o incluso mediciones de turbidímetro para la altura de las nubes.

La estación meteorológica propuesta se ubicará en un terreno sin obstáculos. Lo que más nos interesa es medir las variables físicas más comunes y crear un sistema a través del cual se pueda obtener información sobre cada variable, teniendo en cuenta el propósito de crear un sistema de bajo costo confiable y más importante. (agrotendencia.tv, 2020)

2.8.1. Temperatura

La temperatura es una cantidad escalar relacionada con la energía cinética. La energía cinética está relacionada con el movimiento de partículas en el sistema. Para medir nos basamos en la naturaleza de la sustancia, es decir, cuando la sustancia cambia se puede observar el cambio en su volumen o color. Una cosa.

Generalmente, la temperatura es una de las restricciones más importantes para el crecimiento natural de plantas o vegetación. Todo tipo de plantas que existen tienen una temperatura específica que puede optimizar su crecimiento, y si la temperatura baja o sube, el crecimiento de las plantas se detendrá. Las verduras en la estación fría crecen mejor a temperaturas entre 15 y 18 grados centígrados.

2.8.2. Humedad

La cantidad de vapor de agua en el aire varía con el tiempo y el lugar. Dependiendo de la temperatura, el vapor no excederá su valor máximo de presión. Por lo tanto, solo una cierta cantidad de aire puede contener el valor máximo de vapor de agua. .

La humedad está directamente relacionada con el agua que consumen las plantas, por lo que se necesita un sistema de riego. Cuando las plantas se encuentran en condiciones de humedad excesivamente altas, su consumo de agua es muy bajo, lo que resulta en una absorción insuficiente de nutrientes, por lo que se mostrarán insuficientes en la producción del cultivo. El calcio y el potasio se absorben a través de las raíces, cuando esto sucede, se refleja en las hojas y frutos, la falta de estos

nutrientes puede conducir a enfermedades como Phytophthora, que pueden conducir a la aparición de enfermedades. Esté atento a las quemaduras en las hojas de las plantas, ya que permanecen húmedas por más tiempo de lo normal.

2.8.3. Presión atmosférica

La presión que ejerce la atmósfera sobre cualquier objeto ubicado en cualquier punto de la superficie se llama presión atmosférica. La presión atmosférica también puede entenderse como la cantidad de aire por encima del punto más alto de la atmósfera, lo que significa que cuanto más alto es el punto en la superficie con respecto al nivel del mar, menor es la presión del aire.

La presión atmosférica tiene una gran influencia en los fenómenos climáticos. Como se indica en el documento:

Si la corriente de aire está fría, reducirá la presión y aumentará la presión, lo que ayudará a formar el llamado ciclón térmico. Por otro lado, si el aire está caliente o caliente, aumentará y promoverá una caída de presión, lo que conduce a la formación de un ciclón caliente y provoca inestabilidad.

2.8.4. Velocidad del viento

La diferencia de temperatura en diferentes ubicaciones geográficas producirá el movimiento del aire, que se define como viento. El viento se mueve desde el centro de mayor presión al centro de menor presión y está definido por la dirección en el plano horizontal o vertical. Debido al fluido en la atmósfera que normalmente no está en reposo, las diferentes temperaturas hacen que el aire se mueva en muchas direcciones.

El impacto del viento es muy importante en el sector agrícola, porque el viento puede producir beneficios y desastres en los cultivos al mismo tiempo. Por ejemplo, el movimiento del viento puede hacer que las plantas mejoren su transpiración renovando el aire, y si el movimiento del viento afectará el crecimiento de los cultivos. Las altas velocidades pueden causar pérdida de frutos y daños mecánicos, pero

estos daños son obvios, por ejemplo, existen otras condiciones, como los fuertes vientos, que pueden evitar que los insectos polinizadores vuelen, lo que conduce a restricciones de producción.

2.8.5. La lluvia

La detección de agua de lluvia es fundamental para la investigación hidrológica regional porque se puede utilizar para cuantificar los recursos hídricos en lugares donde el agua se obtiene solo a través de este medio.

La lluvia se reconoce por el mismo fenómeno que la precipitación. Cuando una gran cantidad de aire tiene una bajada de temperatura y un gran aumento, su tamaño aumentará, lo que hará que la presión atmosférica baje y expanda el aire. El aire sufre procesos de condensación, adiabáticos y de gradiente.

Para este recipiente de paredes rectas, la intensidad de la precipitación es igual a la precipitación con respecto al tiempo. Para este recipiente de paredes rectas, se mide en él la cantidad de agua recolectada durante un período de tiempo del día. Sin embargo, en nuestro caso, todavía no queremos recolectar cuántos milímetros de agua en un día, o cuánta intensidad de precipitación se puede alcanzar en una hora.

El propósito de nuestro sistema es lograr la máxima eficiencia en todos los aspectos, uno de los cuales es el ahorro energético. No llueve todo el tiempo, pero ¿está lloviendo todo el tiempo? Primero desea detectar si está lloviendo para decirle al sistema cuándo tomar una medición, y también obtener el conjunto de mediciones solo en estos momentos.

El estudio de esta variable física es muy importante porque es posible que algún día se conozca sobre fenómenos como "El Niño", que consiste en un calentamiento anormal de las aguas del Océano Pacífico, que es impulsado por una corriente débil inexplicable y se desplaza desde el oeste. al este y se puede tratar hasta que este fenómeno pueda resolverse algún día.

2.9. ESP32

El ESP32 puede funcionar de forma fiable en entornos industriales a temperaturas de funcionamiento que oscilan entre -40°C y $+125^{\circ}\text{C}$. El ESP32 funciona con un circuito de calibración avanzado, que puede eliminar dinámicamente los defectos del circuito externo y adaptarse a los cambios en las condiciones externas.

La plataforma ESP32 proporciona funciones WiFi, Bluetooth y BLE de bajo costo. Tiene una CPU de doble núcleo de hasta 240Mhz, que se puede controlar de forma independiente. También integra una gran cantidad de dispositivos periféricos internamente, que incluyen: sensores táctiles capacitivos, sensores de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaces de tarjetas SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C. La ventaja de esta plataforma radica en su enorme comunidad de Internet, que apoya a la comunidad y desarrolla constantemente nuevas herramientas para su uso.

Para su desarrollo cuenta con diversos softwares, lenguajes de programación, frameworks, librerías, códigos y otros recursos. Las opciones más comunes son: Esp-idf (marco de desarrollo Espressif IoT) desarrollado por fabricantes de chips, Arduino (usando lenguaje C ++), plataforma de programación integrada Simba (usando lenguaje Python), RTOS (como Zephyr Project, Mongoose) Sistema operativo, NuttX RTOS), MicroPython, LUA, Javascript (Espruino, Duktape, Mongoose JS) básico. (ESp32, 2021)

Características principales:

- Voltaje de la fuente de alimentación (USB): 5 V CC
- Voltaje de entrada / salida: 3,3 V CC
- CPU principal: Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits
- Frecuencia de reloj: hasta 240 Mhz
- Rendimiento: hasta 600 DMIPS
- Wi-Fi: 802.11 b / g / n / e / i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit / s)
- Bluetooth: v4.2 BR / EDR y Bluetooth de baja energía (BLE)

- Memoria:

- 448 KByte ROM
- 520 KByte SRAM
- 16 KByte SRAM in RTC
- QSPI Flash/SRAM, 4 MBytes
- Pines Digitales GPIO: 24 (Algunos pines solo como entrada)
- Conversor Analógico Digital: Dos ADC de 12bits tipo SAR, soporta mediciones en hasta 18 canales, algunos pines soportan un amplificador con ganancia programable
- Chip USB-Serial: CP2102
- Antena en PCB

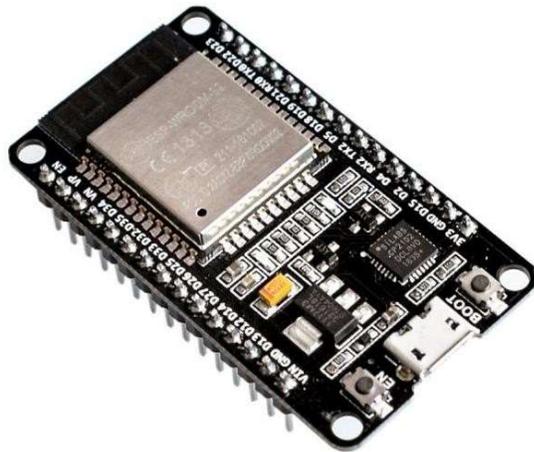


Figura 2.24 ESP32

Fuente: (ESp32, 2021)

2.10. Raspberry PI 3

Raspberry Pi es una computadora de placa única, computadora de placa única o computadora de placa única (SBC) de bajo costo desarrollada por la Fundación Raspberry Pi en el Reino Unido, con el propósito de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas. El modelo original de 345 incluso se ha vuelto más popular de lo esperado e incluso se vende en mercados objetivo-distintos de los robots. No incluye periféricos (como teclados y ratones) ni carcasas.

Aunque no indicó claramente si es hardware gratuito o tiene derechos de marca, explicaron en su sitio web oficial que han firmado contratos de distribución y venta con las dos empresas, pero al mismo tiempo cualquiera puede convertirse en revendedor o revendedor de la tarjeta Raspberry Pi. Distribuidores, lo que significa que es un producto con atributos registrados que puede mantener el control de la plataforma, pero se puede utilizar de forma gratuita a nivel educativo y privado. (RaspberryPi, 2019)



Figura 2.25 Raspberry Pi

Fuente: (RaspberryPi, 2019)

2.10.1. Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3

Se ha lanzado Raspberry Pi 3B +. Tiene una CPU de 1,4 GHz más rápida, Gigabit Ethernet (a través de USB), LAN inalámbrica de doble banda y muchos ajustes de hardware interesantes. Puede leer el historial y los puntos de referencia de la especificación Raspberry Pi 3B + aquí.

- SoC: Broadcom BCM2837
- CPU: 4 × ARM Cortex-A53,
- GPU de 1.2GHz : Broadcom VideoCore IV
- RAM: 1GB LPDDR2 (900 MHz)

- Redes: 10/100 Ethernet, 2.4GHz 802.11n inalámbrico

- Bluetooth: Bluetooth 4.1 Classic, Bluetooth
- Almacenamiento de baja energía : microSD
- GPIO: encabezado de 40 pines,
- Puertos poblados : HDMI, conector de audio y video analógico de 3.5 mm, 4 × USB 2.0, Ethernet, Interfaz serie de cámara (CSI), Interfaz serie de pantalla (DSI)

2.11. Sensores de estación meteorológica agrícola

2.11.1. Sensor de Velocidad del viento.

El sensor de velocidad del viento es un anemómetro, que se puede conectar a muchos instrumentos de medición mediante un sencillo montaje. El sensor de velocidad del viento mide el movimiento del viento más pequeño y transmite directamente estos valores en forma analógica. Debido a su tipo de estructura, el sensor de velocidad del viento puede soportar cualquier fenómeno meteorológico. El sensor de velocidad del viento está hecho de una aleación de metal, que puede protegerlo de la oxidación del aire, evitando así la oxidación. La parte más sensible del sensor de velocidad del viento está sellada y protegida para evitar el agua y otras partículas, como partículas finas de polvo. El sensor de velocidad del viento de la serie PCE-FST-200-201 es un anemómetro que puede detectar incluso la dirección del viento más pequeña. Por eso también puede registrar movimientos inferiores a 0,5 m / s.

El sensor de velocidad del viento está compuesto por una carcasa, tres gafas y un módulo de circuito, que está hecho de material de aleación de aluminio. Todo el sensor tiene alta resistencia, resistencia a la intemperie, resistencia a la corrosión y resistencia al agua. Asegurará el uso a largo plazo del instrumento y la precisión de la recolección de la velocidad del viento. Es muy conveniente realizar mediciones externas.

Características básicas:

- Tipo de salida de prensa: salida PNP

- Estilo de sensor: tres tazas
- Voltaje: 0-5V
- Fuente de alimentación: 12-24V
- Rango de medición: 0-30m / s o 0-60m / s
- Resolución: 0.1M / S
- Max. Potencia: Tipo de pulso $MAX \leq 200MW$
- Tensión $MAX \leq 300MW$
- Corriente $MAX \leq 700MW$
- Velocidad del viento de arranque: 0.4 ~ 0.8M / S
- Temperatura de funcionamiento: -40 °C ~ 80 °C
- Distancia de transmisión: > 1000 m
- Tamaño pequeño, material de la aleación de aluminio, de alta resistencia.
- medición de alta precisión
- Distancia de transmisión de señal larga, fuerte capacidad antinterferencia
- Bajo consumo de energía, amplia gama, buena información de datos
- Fácil de instalar, fácil de transportar

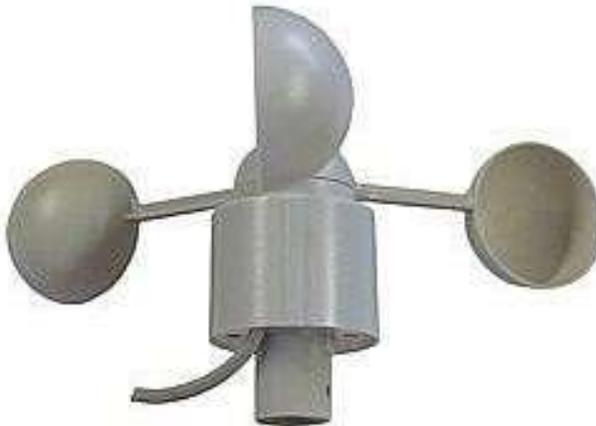


Figura 2.26 Sensor velocidad del viento

Fuente: (cdtecnologia.net, 2020)

2.11.2. Sensor dirección del viento

El sensor de dirección del viento mide la dirección del viento y transmite el valor

medido en forma analógica. Debido a su sencilla instalación, el sensor de dirección del viento se puede aplicar a muchos instrumentos de medición. El sensor de dirección del viento comienza a medir desde el menor movimiento del viento y transmite directamente el valor medido. El sensor de dirección del viento ha comenzado a medir velocidades del viento por debajo de 0,8 m / s. Existen diferentes versiones del sensor de dirección del viento, dependiendo de la señal de salida. El sensor de dirección del viento puede proporcionar una corriente de 4 a 20 mA y una salida de CC de 0 a 10 V. El sensor de dirección del viento puede soportar condiciones climáticas severas debido a su estructura. El sensor de dirección del viento está hecho de aleación de metal, que puede protegerlo de la oxidación en el aire, evitando así la oxidación. La parte más sensible del sensor de dirección del viento está sellada y protegida para evitar el agua y otras partículas, como las partículas de polvo.

Características básicas del sensor de dirección del viento.

- Voltaje de suministro: DC12-24V
- Salida de señal: Tipo actual 4-20mA
- Estilo del sensor: tipo de cola
- Comience la velocidad del viento: 0.5m / s
- Resolución: 0.1 m / s
- Error del sistema: $\pm 3\%$
- Distancia de transmisión: más de 1000 m
- Cableado: Voltaje: trifilar; Actual: tres hilos
- Temperatura de trabajo: $-20^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$
- El consumo de energía: Voltaje $\text{MAX} \leq 0.3\text{W}$; actual- $\text{MAX} \leq 0.7\text{W}$; numérico $\text{MAX} \leq 0.3\text{W}$
- Peso: <1kg (cable de unos 25cm)



Figura 2.27 Sensor velocidad del viento

Fuente: (cdtecnologia.net, 2020)

2.11.3. Pluviómetro

Este pluviómetro de barril inclinable tiene un interruptor de lengüeta electromagnético que se apagará tan pronto como el pluviómetro mida 0,011 pulgadas (0,2794 mm) de lluvia. El cable de 9 pies (3 m) termina en un enchufe modular RJ11, y el cable se puede extender fácilmente usando una extensión de teléfono universal.

El medidor se puede conectar fácilmente a ESP32, Raspberry Pi o cualquier otro microcontrolador. Generalmente, se utilizará una resistencia pull-up (valor típico de 4,7 k ohmios) para subir el pin de entrada y el otro extremo del interruptor del medidor se conectará a tierra y bajará cada vez que se cierre el interruptor.

Las dimensiones son 4,75 pulgadas x 2,38 pulgadas x 3 pulgadas, sin incluir las pestañas de montaje. La pestaña de montaje se extiende 0,6 pulgadas y tiene un orificio de 0,168 pulgadas de diámetro en el centro.

Recomendamos instalar este medidor sobre una base estable, como la parte superior de un techo o cerca. Si el indicador se balancea con el viento en un mástil alto, su movimiento puede causar lecturas falsas.

Agregar una malla de alambre al orificio de drenaje en la parte inferior puede ayudar a mantener las arañas y los insectos en el compartimiento, lo que interfiere con el funcionamiento del dispositivo mecánico.



Figura 2.28 Pluviómetro

Fuente: (cdtecnologia.net, 2020)

2.11.4. Sensor de temperatura con sonda

El sensor de temperatura digital resistente al agua MAXIM DS28B20 le permite conocer la temperatura con una sola línea de datos (1 cable), y dado que cada sensor tiene un identificador de fábrica diferente, puede usar varios sensores en el mismo bus al mismo tiempo.

Sus aplicaciones más habituales son la detección ambiental en edificios, climatización, maquinaria, control y monitorización de procesos industriales, etc.

Especificaciones:

- Voltaje de Operación: 3.0V – 5.5V

- Rango de Trabajo: -55°C hasta +125°C (-67°F a +257°F)
- Precisión en el rango de -10°C hasta +85°C: $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
- Resolución seleccionable de 9-12 bits
- Cubierta de Acero Inoxidable de alta calidad, previene la humedad y la oxidación.
- A prueba de Agua
- No necesita componentes adicionales.
- Longitud de cable: 1m
- Cables: Rojo (+VCC), Blanco (DATA), Negro (GND)



Figura 2.29 Sensor temperatura con sonda

Fuente: (cdtecnologia.net, 2020)

2.11.5. Módulo GSM / GPRS + GPS

El módulo se basa en el chip SIMCOM SIM808, además de enviar y recibir datos GSM / GPRS (función de los teléfonos móviles 2g), tecnología de navegación por satélite GPS, pero también nos proporciona funciones. Es decir, con la ayuda de este módulo y utilizando una tarjeta SIM, podremos enviar y recibir llamadas y SMS, conectarnos a Internet y comprender nuestras coordenadas y hora UTC (Universal Standard Time).

Por supuesto, tiene una conexión de auriculares y micrófono para que podamos hablar con la persona que nos llamó o hablar con nosotros.



Figura 2.30 Módulo GSM GPRS GPS

Fuente: (cdtecnologia.net, 2020)

2.11.6. Sensor UV

El módulo sensor de luz UVM-30A es adecuado para cualquier ubicación y requiere una medición UV estable y precisa. Ideal para proyectos que utilizan ESP32.

Característica de Módulo sensor UV negro UVM-30 para ESP32:

- Voltaje de funcionamiento : 3-5 VDC,
- Voltaje de entrada : DC 0-1 VDC,
- Conector 3 pines :
 - - GND (-) : conexión a tierra,
 - - Out : señal de salida del sensor,
 - - VCC (+) : alimentación del sensor,
- Precisión de medida : +/- 1UV índice,
- Corriente de trabajo : 0.06mA (estándar) / 0.1mA (máx.),
- Longitud de onda de respuesta : 200-370 nm,
- Temperatura de trabajo : -20°C - +85°C,
- Tamaño PCB : 28x12mm.



Figura 2.31 Sensor UV

Fuente: (cdtecnologia.net, 2020)

2.11.7. Sensor Humedad del suelo

El módulo de sensor de humedad del suelo-higrómetro es muy adecuado para proyectos electrónicos con ESP32. Se puede utilizar para el riego automático de plantas en macetas. Con este módulo, podrá medir la humedad del suelo y así podrá controlar el nivel de humedad del suelo de la planta.

El módulo tiene dos salidas: cantidad analógica A0 y cantidad digital D0, según el ajuste del umbral, que se establece mediante el potenciómetro, aparece la señal de salida digital D0-0 o 1.

Características técnicas:

- Tensión de funcionamiento: 3.3V -5 V
- Sensibilidad ajustable por potenciómetro
- Modo de salida dual : analógica y digital
- LED rojo – indicador de encendido
- LED verde – indicador de salida de conmutación digital
- Medidas PCB: 3 x 1.5 cm
- Medidas Sonda: 6 x 3 cm

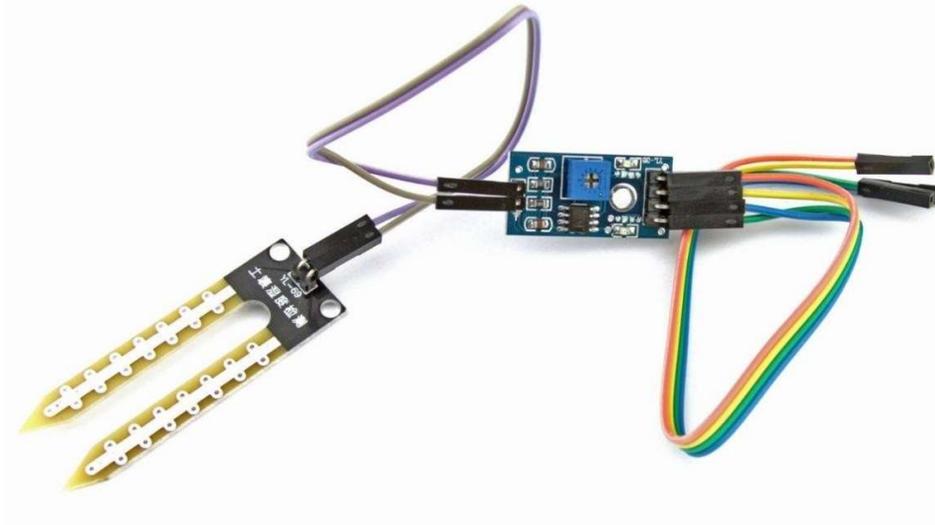


Figura 2.32 Sensor humedad del suelo

Fuente: (cdtecnologia.net, 2020)

2.11.8. Sensor humedad y temperatura ambiente

DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil de usar. Integra un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos a través de la señal digital en el pin de datos (no tiene salida analógica). Se utiliza para aplicaciones académicas relacionadas con el control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo del entorno agrícola, etc.

Usar el sensor DHT11 en la plataforma Arduino / Raspberry Pi / Nodemcu es muy simple tanto a nivel de software como de hardware. A nivel de software, existe una biblioteca para Arduino que admite el protocolo de "bus único". Desde una perspectiva de hardware, solo necesita conectar el pin de alimentación VCC a 3-5V, conectar el pin GND a tierra (0V) y conectar el pin de datos al pin digital en nuestro Arduino. Si desea conectar varios sensores DHT11 al mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. El único inconveniente del sensor puede ser que solo puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor se calibra en fábrica para obtener los coeficientes de calibración registrados en su memoria OTP, lo que

garantiza una alta estabilidad y confiabilidad a largo plazo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador utiliza un solo hilo o cable, y la longitud máxima recomendada del cable es de 20 m. Es mejor usar un cable apantallado. Proteger el sensor de la luz directa del sol (radiación UV). Comparado con DHT22 y DHT21, el sensor tiene menor precisión, menor precisión y opera en un rango de temperatura / humedad más pequeña, pero su empaque es más pequeño y el precio es más económico.

- Voltaje de Operación: 3V - 5V DC
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Precisión de medición de humedad: 5% RH.
- Resolución Humedad: 1% RH
- Tiempo de sensado: 1 seg.
- Interface digital: Single-bus (bidireccional)
- Modelo: DHT11
- Dimensiones: 16*12*5 mm
- Peso: 1 gr.
- Carcasa de plástico celeste
- Alimentación: +5V (VCC)
- Datos (DATA)
- No Usado (NC)
- Tierra (GND)
- Recomendamos utilizar una resistencia de 4.7K Ohm en modo Pull-up, entre el pin de Datos y VCC

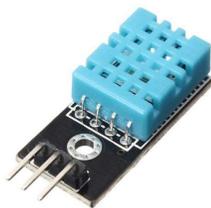


Figura 2.33 Sensor humedad y temperatura



Fuente: (cdtecnologia.net, 2020)

3. Marco metodológico

3.1. Tipo de investigación

El método cuasi experimental pondrá en práctica todos los conocimientos de tecnología electrónica y de telecomunicaciones aprendidos en el aula.

Se diseñará un prototipo de estación meteorológica agrícola que monitorizará parámetros como velocidad de viento, dirección del viento, cantidad de lluvia, temperatura ambiente, humedad ambiente, humedad de suelo y rayos UV que nos permitirá realizar pruebas que servirán para verificar condiciones ideales para la producción del cacao mediante la implementación de una estructura basada en equipos autosustentables, sensores, ESP32 y Raspberry pi3 que mediante una conexión a internet enviará los datos a la nube para monitorización de estos mediante ThinkSpeak. Adicional se instalará un módulo GSM para envío de datos vía SMS a un celular configurado de la persona que monitorizará los datos en caso de que haya un problema como aumento de temperatura, por ejemplo.

El método investigativo permitirá desarrollar un análisis esencial para que el estudiante asimile las normativas para la manipulación e implementación de sistemas de electrónica de bajo costo.

Este método se utilizará para conocer información sobre el funcionamiento de las estaciones meteorológica, así como también para determinar cuál de los sensores es el más apropiado para el funcionamiento de la estación.

3.2. Diseño de investigación

Se utiliza para investigaciones de tipo experimental porque según (Arias, 2012) esto permite la manipulación de un objeto o de un grupo de personas, someténdolas a diferentes condiciones y estímulos para poder observar los resultados. Esta investigación se basa en información extraída de diferentes artículos científicos con la misma o similar temática; además, la investigación se basa en el análisis de

diferentes prototipos de sistemas meteorológicos encontrados en una búsqueda de literatura correspondiente al estado de la técnica.

3.3. Enfoque de la investigación

En esta investigación se utiliza métodos experimentales ya que se toman datos mediante sensores, y donde las variables a medir corresponden a datos cuantitativos que se comparan con las revisiones teóricas de diversas fuentes a través de la investigación bibliográfica, tales como: libros, trabajos relacionados, artículos científicos y otras publicaciones, en las que se analiza cuantitativamente la información obtenida.

Por otra parte, se realiza un estudio experimental, en otras palabras, se realiza una investigación de campo, donde se obtienen datos cuantitativos, debido al análisis de las señales analógicas obtenidas por sensores y enviadas al ESP32 y Raspberry PI, lo cual permite que el estudio de estas se realice con un máximo de aprendizaje práctico. (Cadena-Iñiguez, la Cruz-Morales, del Rosario, & Ma, n.d.)

3.4. Metodología de investigación

En cuanto al método de investigación, se trabaja con un método inductivo, para buscar la inducción del pensamiento a través de la generación de ideas particulares que en conjunto forman una generalidad del pensamiento, otorgando la posibilidad de obtener conclusiones relacionadas al estudio. (Rodríguez Moguel, 2005)

En este caso, a partir de configuraciones y pruebas realizadas y el análisis de los resultados obtenidos se logra establecer conclusiones generales para el diseño e implementación del prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable. (Rodríguez Moguel, 2005)

3.5. Proyectos de investigación vinculados

Se detalla los diferentes proyectos de investigación vinculados con el proyecto de tesis.

- Diseño e implementación de un prototipo de una Estación Meteorológica remota con transmisión de datos vía SMS y publicación en la página WEB del Observatorio Astronómico de Quito. (Tacuri Eras & Villegas Toctaguano, 2020)

El proyecto actual expone el diseño y la implementación de un prototipo de estación meteorológica remota, para el Observatorio Astronómico de Quito (O.A.Q.), con la finalidad de obtener información meteorológica del medio ambiente. De esta manera, esta dependencia de la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer un seguimiento de los cambios ambientales para uso en las actividades propias del Observatorio y para información de la comunidad. (Steven, Almanza, & Rojas Paternina, 2015)

- Diseño e implementación de un prototipo de Estación Meteorológica remota de bajo costo empleando el enfoque de internet de las cosas.

Este prototipo de estación tiene como utilidad verificar el ámbito de la adquisición y transmisión de variables atmosféricas, así como también temas de predicción, mitigación, y la adaptación a los fenómenos derivados del Cambio Climático. [6]

- Diseño, desarrollo e implementación de una estación meteorológica basada en una red jerárquica de sensores, software libre y sistemas embebidos para la empresa ELECAUSTRO en la minicentral Gualaceo utilizando comunicación Mqtt y Modbus. (Sonia Isabel Palaguachi Encalada, 2020)

El presente consiste en el diseño e implementación de una estación meteorológica basada en el uso de sistemas embebidos tales como Raspberry pi y Arduino Yun, conectados inalámbricamente mediante la comunicación MQTT y MODBUS, con lo cual se monitorea en tiempo real las diferentes variables climáticas, con la opción de consultas de los históricos

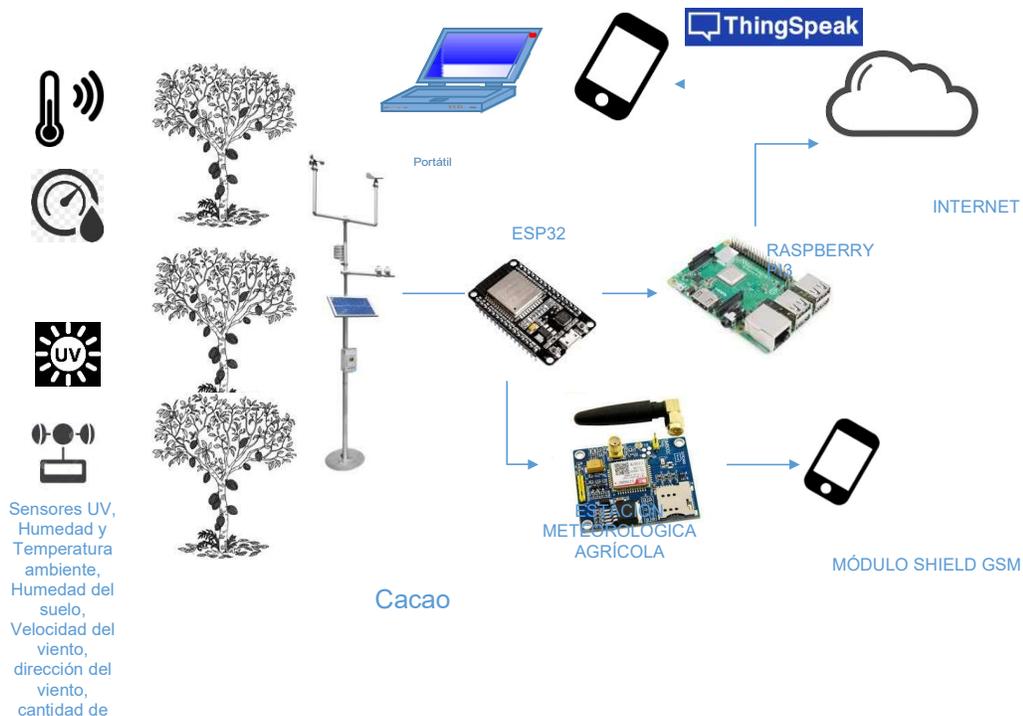
3.6. Título de la propuesta

Diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable para el monitoreo de parámetros ambientales en cultivos de cacao mediante Raspberry pi

3.7. Descripción de la propuesta

El tema propuesto en este documento se basará en el diseño e implementación de un prototipo meteorológico agrícola que medirá diferentes parámetros ambientales para ser implementada en una granja agrícola aplicados al cultivo del cacao.

El prototipo consistirá en un módulo conformado por una Raspberry Pi 3, ESP32 y varios sensores analógicos que tomarán datos como los rayos UV, humedad, temperatura ambiente, cantidad de lluvia, velocidad del viento, dirección del viento y humedad del suelo. A continuación, se muestra un diagrama del prototipo meteorológico autosustentable IoT para aplicaciones agrícolas enfocadas en la tecnificación del cultivo del cacao.





S
M
S
M

E
N
S
A

J
E
S
D

E ALERTA
TEMPERATURA
Y HUMEDAD

Figura 3.1 Prototipo de estación meteorológica autosustentable utilizada para agricultura.

Como se puede observar en la figura 3.1 se muestra el prototipo de estación meteorológica autosustentable agrícola para la obtención de datos mediante sensores como temperatura ambiente, humedad ambiente, humedad de suelo, cantidad de rayos UV, dirección del viento, velocidad del viento y cantidad de lluvia los cuales convergen en una PCB diseñada que contiene el ESP32 y el módulo GSM los cuales procesarán los datos tomados por los sensores, esos valores analógicos los enviará posteriormente al Raspberry PI y posterior enviará la data a la nube del internet, donde mediante el software gratuito ThinkSpeak recopilará la información y mostrará vía web al administrador o agricultor para un correcto monitoreo de la plantación de cacao.

Como método de alerta se configura un sistema de envío de mensajes SMS hacia el celular del agricultor en caso de que los parámetros de las mediciones de temperatura y humedad del ambiente salgan de su umbral óptimo de operación.

Toda esta información será almacenada en la nube en los servidores de ThinkSpeak lo cual mediante el monitoreo servirá para la toma de decisiones durante el cultivo de las plantas de cacao, con el fin de evitar excesos de humedad, viento, y temperaturas que pueden ser controlados siempre y cuando se tenga una alerta temprana con la finalidad de que el cultivo del cacao se maneje de una manera tecnificada.

Para métodos de pruebas la maqueta se implementará en primera instancia en la casa del Sr. Danny López autor de la tesis, para probar su funcionamiento y operatividad.

Se tiene planificado que el prototipo pase varias pruebas para que pueda ser implementada en una granja agrícola de cultivo de cacao.

Para cumplir con esta primera etapa se compra varias plantas de cacao las cuales serán implementadas en maceteros donde se colocarán los sensores de humedad de suelo, humedad y temperatura ambiente, así como los demás sensores que estarán cerca de las plantas.

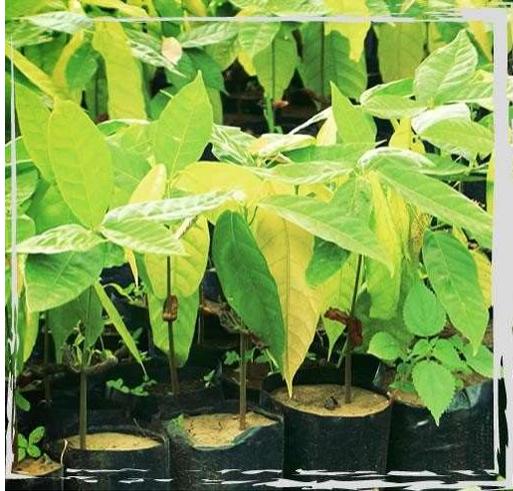


Figura 3.2 Planta de cacao.

3.8. Desarrollo de la propuesta

Luego de la investigación desarrollada en el estado del arte y analizando las factibilidades técnicas para el desarrollo del prototipo, se optó por la fabricación de una tarjeta PCB el cual contiene diferentes elementos como el ESP32 que reemplazará al arduino anteriormente planteado en el anteproyecto, elementos de poder y comunicación USB UART, la tarjeta GSM GPRS, el ADC 16 Bits.

Estos elementos se describen en los siguientes esquemáticos de la PCB:

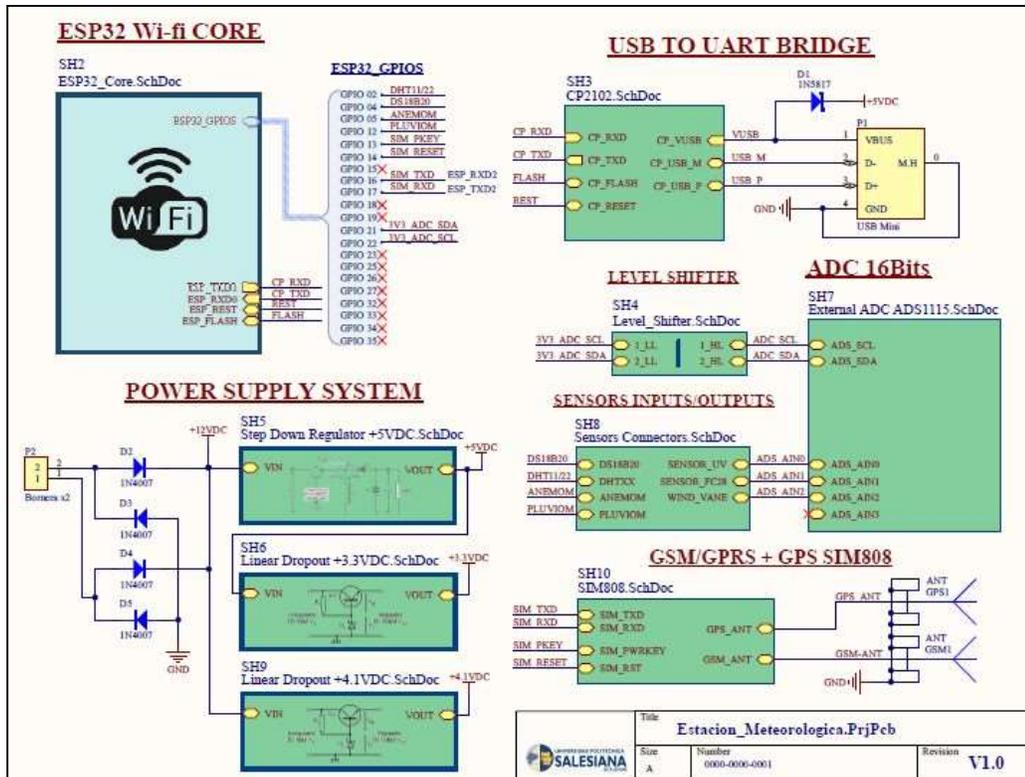


Figura 3.3 Elementos del PCB

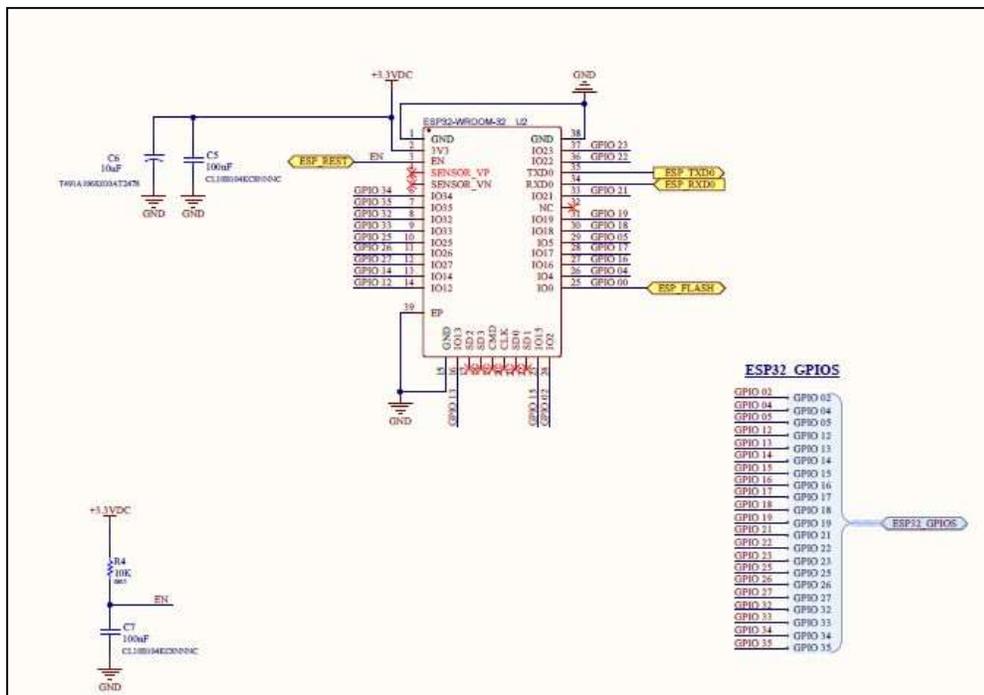


Figura 3.4 Conexiones del ESP32

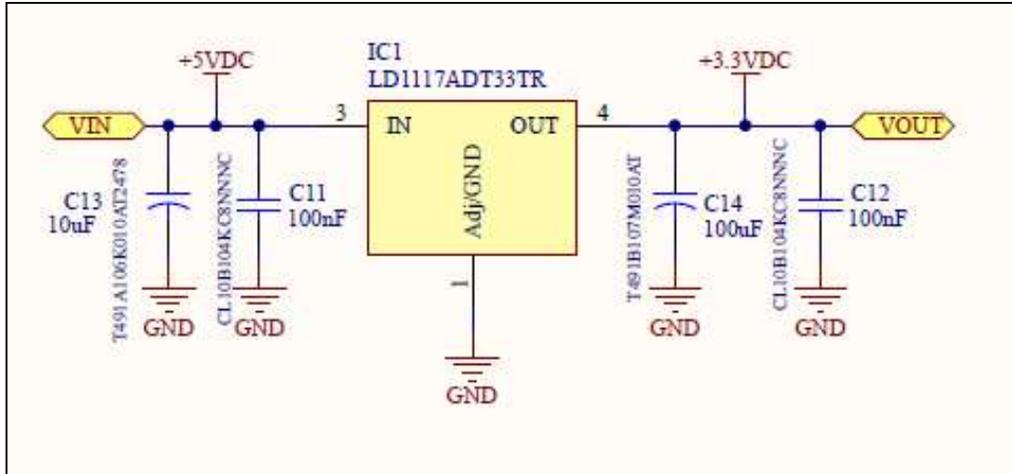


Figura 3.7 Conexiones IC1

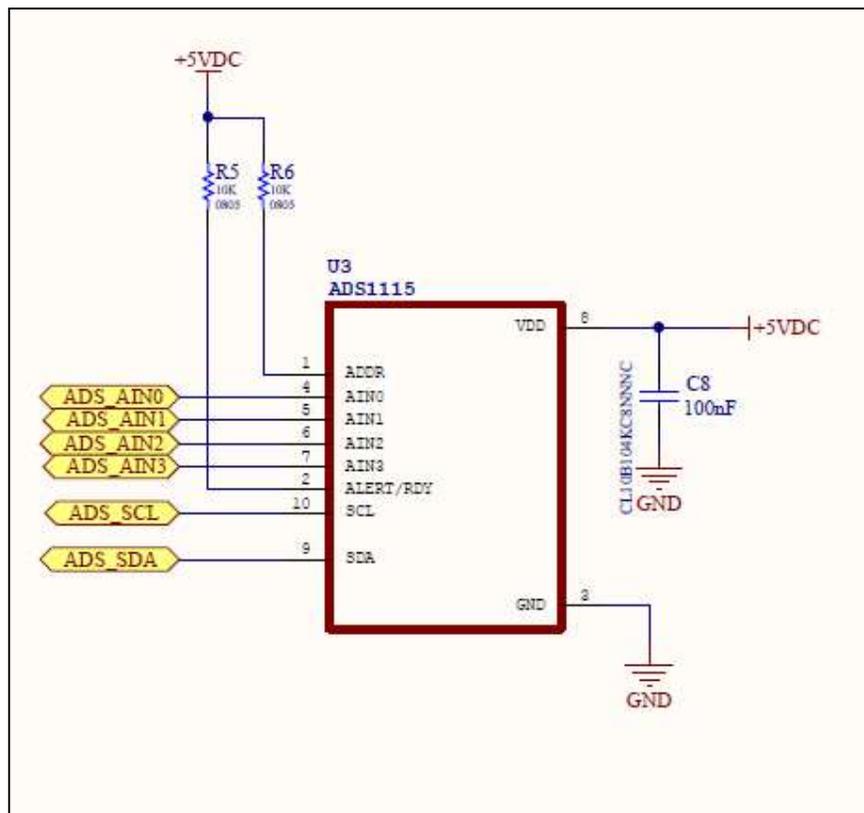


Figura 3.8 Conexiones ADS1115

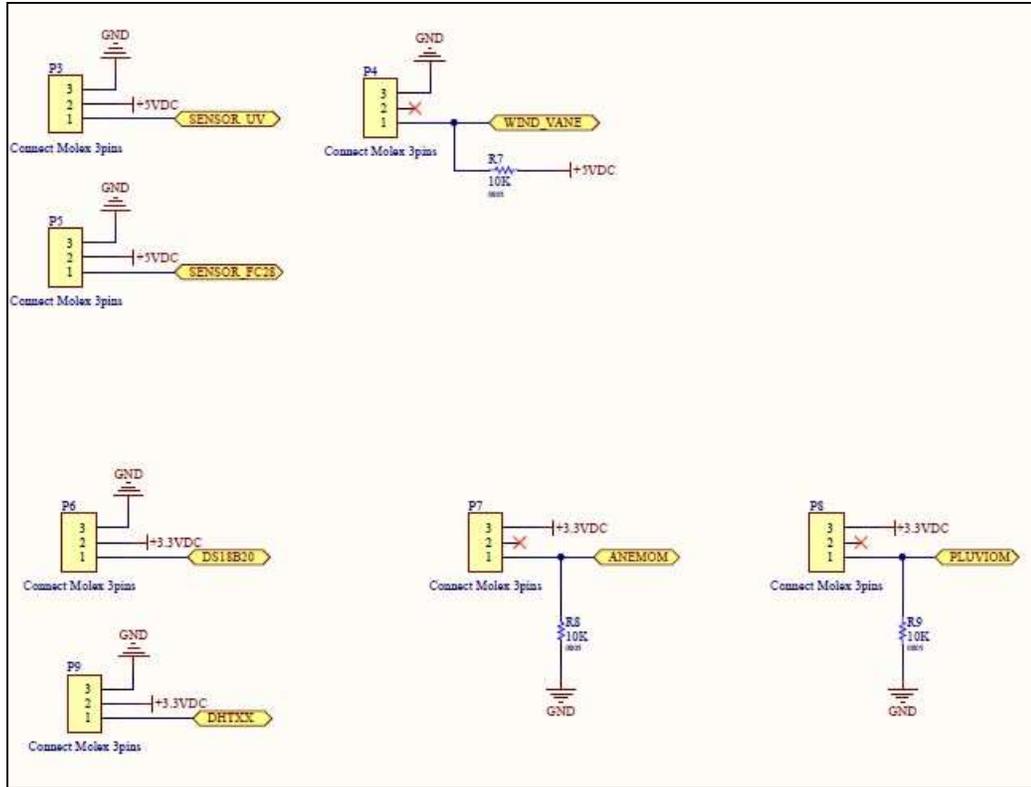


Figura 3.9 Conexiones sensores

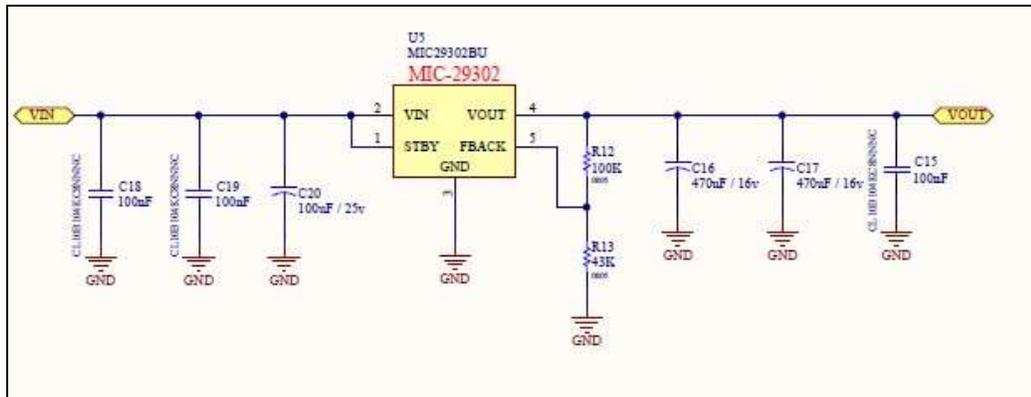


Figura 3.10 Conexiones MIC-29302

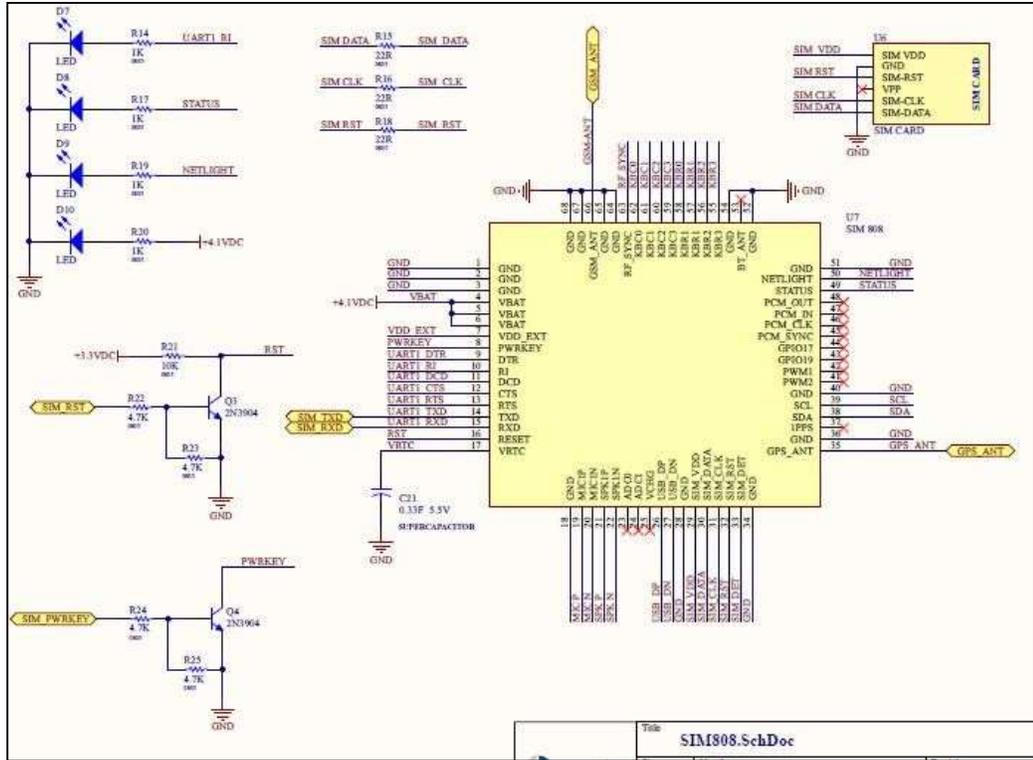


Figura 3.11 Conexiones SIM 808

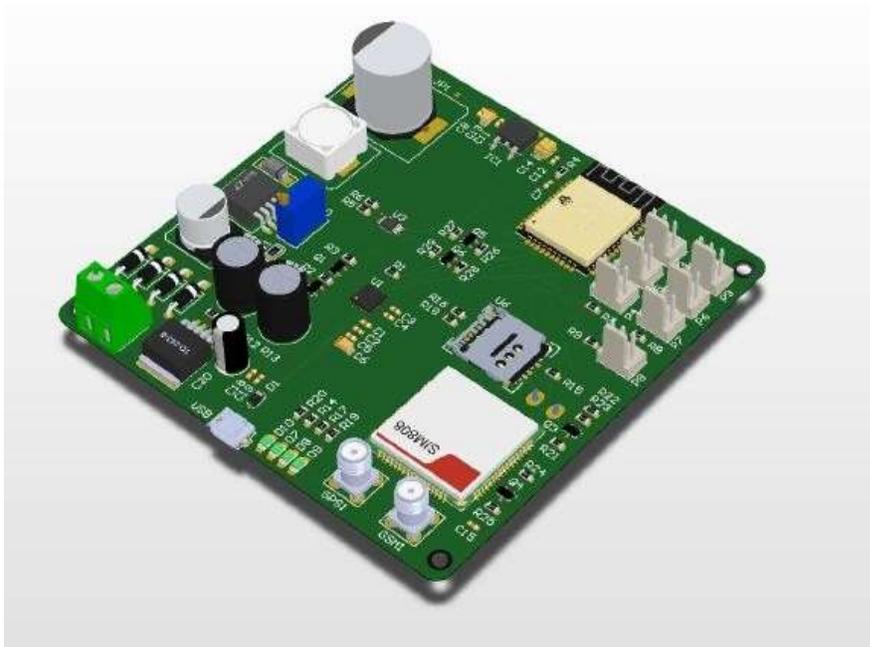


Figura 3.12 Diseño en 3D de la PCB del prototipo

3.9. Conectorización de prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable.

Luego del diseño de la PCB y la fabricación de la tarjeta en China, la cual tomó un tiempo aproximado de 3 meses, se procede la colocación de elementos electrónicos que irán en la PCB. Como se planteó en el diseño que la PCB contendrá el ESP32 Wifi y el módulo GSM GPRS SIM808, así como también las entradas de los sensores.

Como se puede observar en la figura, los elementos como la PCB, los conectores de sensores, la Raspberry PI y el módulo de energización se colocará en una caja plástica tipo industrial para la protección de la electrónica.

Se utilizarán conectores enroscables para Conectar los sensores.

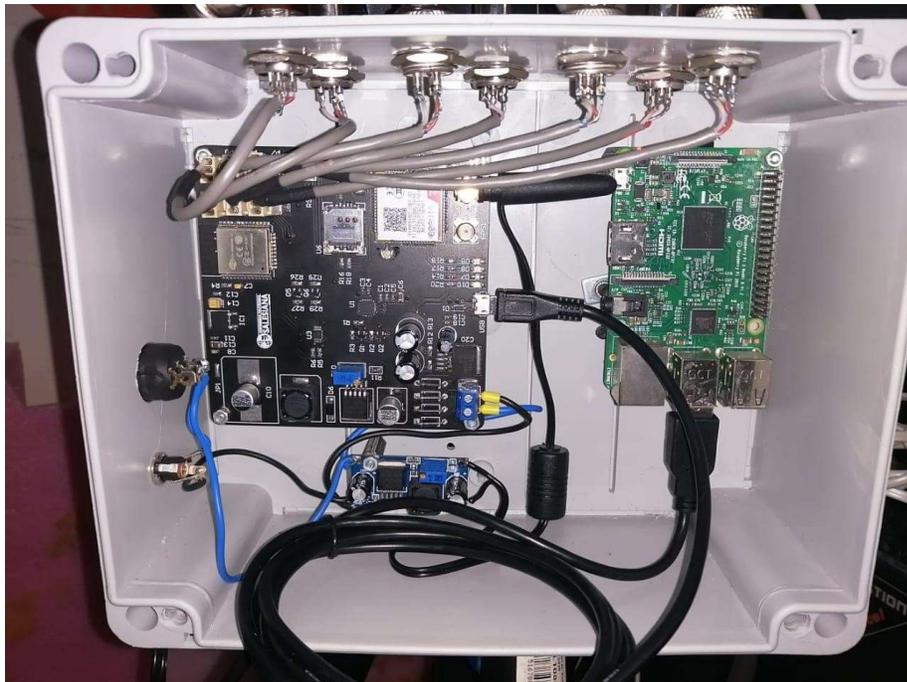


Figura 3.13 Conexión de elementos del prototipo

Se procede con el etiquetado de cada conector, así como también el etiquetado en la caja para poder identificar a que conector corresponde cada sensor. La etiqueta se la realiza con cinta adhesiva blanca mediante máquina de etiquetado Brady.



Figura 3.14 Etiquetado de los conectores de los sensores

Se coloca protecciones en los sensores para evitar daños por humedad.



Figura 3.15 Protección de los sensores

A continuación, se detalla las conexiones físicas realizadas en el prototipo IoT meteorológico agrícola.



Figura 3.16 Armado de pedestal base del prototipo



Figura 3.17 Colocación de elementos en el pedestal



Figura 3.18 Ajustes de la caja del prototipo

Se realizan las conexiones de cableado de los sensores meteorológicos, sensor de viento, dirección del viento y sensor de cantidad de lluvia.



Figura 3.19 Conectorización de sensores meteorológicos



Figura 3.20 Ajustes con amarras de los cables del prototipo



Figura 3.21 Peinado del cableado



Figura 3.22 Prototipo IoT ensamblado



Figura 3.23 Vista frontal del prototipo IoT

Luego del armado del prototipo se procede con la instalación de los paneles solares, los cuales le dan la característica de auto sustentabilidad al proyecto.



Figura 3.24 Conexiones de panel solar



Figura 3.25 Cableado del sistema solar



Figura 3.26 Conectorización de batería solar

3.10. Conectorización de sensores

A continuación, se muestran la conectorización de sensores utilizados en el prototipo



Figura 3.27 Sensor cantidad de lluvia



Figura 3.28 Sensor velocidad del viento



Figura 3.29 Sensor dirección del viento

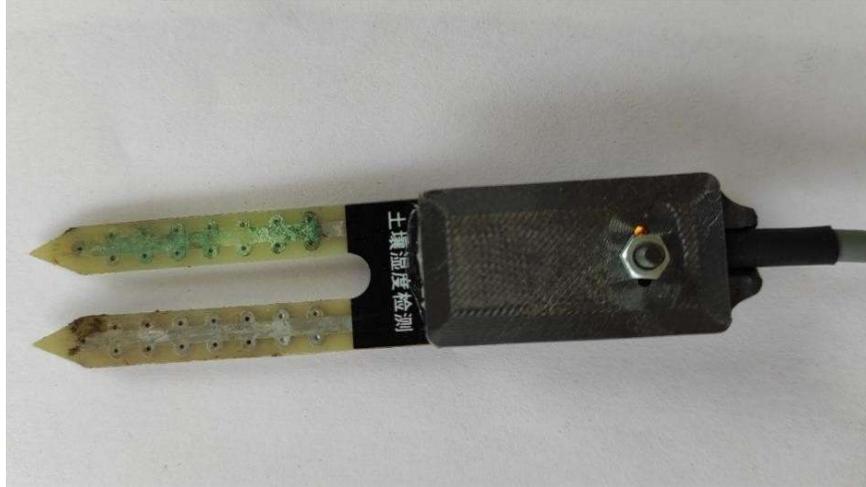


Figura 3.30 Sensor humedad de suelo

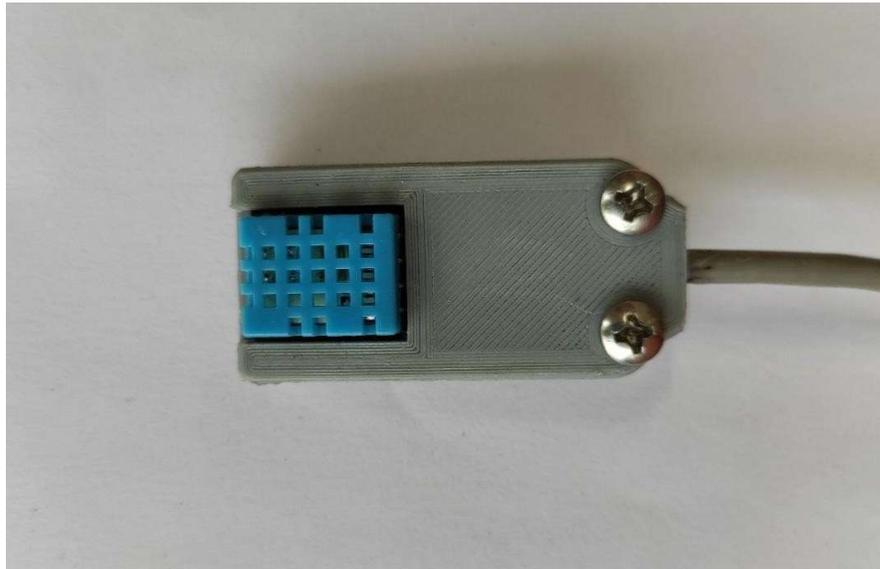


Figura 3.31 Sensor temperatura y humedad relativa



Figura 3.32 Sensor UV



Figura 3.33 Sensor humedad de suelo

Una vez realizado las conexiones físicas del prototipo se procede a conectar los sensores en la maqueta de las plantas de cacao.



Figura 3.34 Monitorización de las plantas



Figura 3.35 Colocación del sensor de humedad de suelo



Figura 3.36 Conexión del sensor temperatura del suelo

3.11. Test de sensores

Luego de las conectorizaciones física del prototipo, se procede a ingresar a la Raspberry PI que servirá de servidor local para el proyecto.

La conexión entre la PCB y la Raspberry PI es vía serial USP, para poder ingresar al prototipo se lo realiza de manera remota mediante Teamviewer.



Figura 3.37 Acceso remoto al prototipo mediante servidor Raspberry

Para asegurar un control del funcionamiento de cada sensor se procede a probar los sensores por separado, uno a uno cargando los siguientes códigos.

3.11.1. Test de sensor de temperatura y humedad DTH11

Se prueba el funcionamiento del sensor de temperatura y humedad DTH11 con el siguiente código:

```
#include "DHT.h"  
#define DHTPIN 2  
#define DHTTYPE DHT11  
  
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  Serial.println("DHTxx test!");  
  
  dht.begin();  
}
```

```
void loop() {  
  delay(2000);  
  
  float h = dht.readHumidity();  
  float t = dht.readTemperature();  
  float f = dht.readTemperature(true);  
  
  if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {  
    Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));  
    return;  
  }  
  
  float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);  
  float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);  
  
  Serial.print(F("Humidity: "));  
  Serial.print(h);  
  Serial.print(F("% Temperature: "));  
  Serial.print(t);  
  Serial.print(F("°C "));  
  Serial.print(f);  
  Serial.print(F("°F Heat index: "));  
  Serial.print(hic);  
  Serial.print(F("°C "));  
  Serial.print(hif);  
  Serial.println(F("°F"));  
}
```

3.11.2. Test de sensor de temperatura de suelo DS18B20

Se prueba el funcionamiento del sensor de temperatura de suelo con el siguiente código:

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define oneWireBus 4

OneWire oneWire(oneWireBus);

DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);
  float temperatureF = sensors.getTempFByIndex(0);
  Serial.print(temperatureC);
  Serial.println("°C");
  Serial.print(temperatureF);
  Serial.println("°F");
  delay(500);
}
```

3.11.3. Test de sensor de humedad de suelo

Se prueba el funcionamiento del sensor de humedad de suelo con el siguiente código:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>

Adafruit_ADS1015 ads(0x49);
float Voltage = 0.0;
```

```
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  ads.begin();
}

void loop(void)
{
  int16_t adc1;

  adc1 = ads.readADC_SingleEnded(1);
  Voltage = adc1*(0.1875/1000); //V

  Serial.print("ADC: ");
  Serial.print(adc1);
  Serial.print("\tVoltaje: ");
  Serial.println(Voltage, 7);
  Serial.println();
  delay(1000);
}
```

3.11.4. Test de sensor de cantidad de lluvia

Se prueba el funcionamiento del sensor de cantidad de lluvia con el siguiente código:

```
// Variables and constants used in tracking rainfall
#define S_IN_DAY 86400
#define S_IN_HR 3600
#define NO_RAIN_SAMPLES 2000

// Pin assignment definitions
#define RAIN_PIN 12
```

```
// Variables and constants used in calculating the windspeed.
volatile unsigned long timeSinceLastTick = 0;
volatile unsigned long lastTick = 0;

volatile long rainTickList[NO_RAIN_SAMPLES];
volatile int rainTickIndex = 0;
volatile int rainTicks = 0;
int rainLastDay = 0;
int rainLastHour = 0;
int rainLastHourStart = 0;
int rainLastDayStart = 0;
long secsClock = 0;

void setup(){
  Serial.begin(9600);

  pinMode(RAIN_PIN, INPUT); // Rain sensor
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(RAIN_PIN), rainTick, RISING);
  // Zero out the timestamp array.
  for (int i = 0; i < NO_RAIN_SAMPLES; i++) rainTickList[i] = 0;
}

void loop(){

  static unsigned long outLoopTimer = 0;
  static unsigned long wundergroundUpdateTimer = 0;
  static unsigned long clockTimer = 0;
  static unsigned long tempMSClock = 0;

  tempMSClock += millis() - clockTimer;
  clockTimer = millis();
  while (tempMSClock >= 1000){
    secsClock++;
  }
}
```

```

tempMSClock -= 1000;
}

if (millis() - outLoopTimer >= 2000){
    outLoopTimer = millis();

    Serial.print("\nTimestamp: ");
    Serial.println(secsClock);

    // Calculate and display rainfall totals.
    Serial.print("Rainfall last hour: ");
    Serial.println(float(rainLastHour)*0.011, 3);
    Serial.print("Rainfall last day: ");
    Serial.println(float(rainLastDay)*0.011, 3);
    Serial.print("Rainfall to date: ");
    Serial.println(float(rainTicks)*0.011, 3);

    // Calculate the amount of rain in the last day and hour.
    rainLastHour = 0;
    rainLastDay = 0;
    // If there are any captured rain sensor ticks...
    if (rainTicks > 0)
    {
        // Start at the end of the list. rainTickIndex will always be one greater
        // than the number of captured samples.
        int i = rainTickIndex-1;

        // Iterate over the list and count up the number of samples that have been
        // captured with time stamps in the last hour.
        while ((rainTickList[i] >= secsClock - S_IN_HR) && rainTickList[i] != 0)
        {
            i--;
            if (i < 0) i = NO_RAIN_SAMPLES-1;
            rainLastHour++;
        }
    }
}

```

```

}

// Repeat the process, this time over days.
i = rainTickIndex-1;
while ((rainTickList[i] >= secsClock - S_IN_DAY) && rainTickList[i] != 0)
{
    i--;
    if (i < 0) i = NO_RAIN_SAMPLES-1;
    rainLastDay++;
}
rainLastDayStart = i;
}
}
}

// Capture timestamp of when the rain sensor got tripped.
void rainTick(void)
{
    rainTickList[rainTickIndex++] = secsClock;
    if (rainTickIndex == NO_RAIN_SAMPLES) rainTickIndex = 0;
    rainTicks++;
}

```

3.11.5. Test de sensor UV

Se prueba el funcionamiento del sensor UV con el siguiente código:

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>

Adafruit_ADS1115 ads(0x49);
float Voltage = 0.0;

```

```
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  ads.begin();
}

void loop(void)
{
  int16_t adc0;

  adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0);
  Voltage = adc0*(0.1875); //mV

  Serial.print("ADC: ");
  Serial.print(adc0);
  Serial.print("\tmV: ");
  Serial.println(Voltage, 7);
  Serial.println();
  Serial.print("Indice: ");
  Serial.println(UV_range(Voltage));
  Serial.println();
  delay(1000);
}

String UV_range(int vin){
  String indice;
  int UV_Val_RAMBAL = vin;

  if(vin < 10) {
    indice = "0, nivel bajo"; }
  else { if(UV_Val_RAMBAL < 46) {
    indice = "1, nivel bajo"; }
  else { if(UV_Val_RAMBAL < 65) {
    indice = "2, nivel bajo"; }
  }
}
```

```

else { if(UV_Val_RAMBAL < 83) {
    indice = "3, nivel moderado"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 103) {
    indice = "4, nivel moderado"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 124) {
    indice = "5, nivel moderado"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 142) {
    indice = "6, nivel ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 163) {
    indice = "7, nivel ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 180) {
indice = "8, nivel MUY ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 200) {
indice = "9, nivel MUY ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 221) {
indice = "10, nivel MUY ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 239) {
    indice = "11, nivel Ext. ALTO 'Peligro"; }
else {
    indice = "11+, nivel Ext. ALTO 'Peligro"; }
}}}}}}}}

return indice;
}

```

3.11.6. Test de sensor de velocidad de viento

Se prueba el funcionamiento del sensor velocidad del viento con el siguiente código:

```

// Variables and constants used in calculating the windspeed.
volatile unsigned long timeSinceLastTick = 0;
volatile unsigned long lastTick = 0;

float windSpeed = 0.0;

```

```
long secsClock = 0;

// Pin assignment definitions
#define WIND_SPD_PIN 05

void setup(){
  Serial.begin(9600);

  // Wind speed sensor setup. The windspeed is calculated according to the number
  // of ticks per second. Timestamps are captured in the interrupt, and then converted
  // into mph.
  pinMode(WIND_SPD_PIN, INPUT); // Wind speed sensor
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(WIND_SPD_PIN), windTick, FALLING);
}

void loop(){
  static unsigned long outLoopTimer = 0;
  static unsigned long wundergroundUpdateTimer = 0;
  static unsigned long clockTimer = 0;
  static unsigned long tempMSClock = 0;

  // Create a seconds clock based on the millis() count. We use this
  // to track rainfall by the second. We've done this because the millis()
  // count overflows eventually, in a way that makes tracking time stamps
  // very difficult.
  tempMSClock += millis() - clockTimer;
  clockTimer = millis();
  while (tempMSClock >= 1000)
  {
    secsClock++;
    tempMSClock -= 1000;
  }
}
```

```
// This is a once-per-second timer that calculates and prints off various
// values from the sensors attached to the system.
if (millis() - outLoopTimer >= 2000)
{
  outLoopTimer = millis();

  Serial.print("\nTimestamp: ");
  Serial.println(secsClock);

  // Windspeed calculation, in mph. timeSinceLastTick gets updated by an
  // interrupt when ticks come in from the wind speed sensor.
  if (timeSinceLastTick != 0) windSpeed = 1000.0/timeSinceLastTick;
  Serial.print("Windspeed: ");
  Serial.print(windSpeed*1.492);
  Serial.println(" mph");

}
}

// Keep track of when the last tick came in on the wind sensor.
void windTick(void)
{
  timeSinceLastTick = millis() - lastTick;
  lastTick = millis();
}
```

3.11.7. Test de sensor de dirección del viento

Se prueba el funcionamiento del sensor dirección del viento con el siguiente código:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>

Adafruit_ADS1115 ads(0x49);
```

```
float Voltage = 0.0;

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  ads.begin();
}

void loop(void)
{
  int16_t adc2;

  adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);
  Voltage = adc2*(0.1875/1000);

  Serial.print("ADC: ");
  Serial.print(adc2);
  Serial.print("\tVoltage: ");
  Serial.println(Voltage, 7);
  Serial.println();
  Serial.print("Wind Dir: ");
  Serial.println(windDirCalc(adc2));
  Serial.println();
  delay(1000);
}

String windDirCalc(int vin){
  String windDir;

  if (vin < 1707) windDir = "112.5";
  else if (vin < 2187) windDir = "67.5";
  else if (vin < 2400) windDir = "90.0";
  else if (vin < 3307) windDir = "157.5";
  else if (vin < 4800) windDir = "135.0";
```

```
else if (vin < 6347) windDir = "202.5";  
else if (vin < 7467) windDir = "180.0";  
else if (vin < 10560) windDir = "22.5";  
else if (vin < 12000) windDir = "45.0";  
else if (vin < 15627) windDir = "247.5";  
else if (vin < 16427) windDir = "225.0";  
else if (vin < 18293) windDir = "337.5";  
else if (vin < 20480) windDir = "0.0";  
else if (vin < 21547) windDir = "292.5";  
else if (vin < 23093) windDir = "315.0";  
else if (vin < 24640) windDir = "270.0";  
else windDir = "0";  
  
return windDir;  
}
```

3.11.8. Test de módulo GSM

Se prueba el funcionamiento del módulo GSM con el siguiente código:

```
#include <Arduino.h>  
#include <HardwareSerial.h>  
#include "GPRS_Functions.h"  
  
#define PWR_MODEM 13  
#define RST_MODEM 14  
  
HardwareSerial mySerial(2);  
  
const String CELLNUMBER = "+593939883629";  
  
bool smsSent = false;  
  
"sendAT"
```

```
const int TIMEOUT_AT = 2000;
```

```
const int RX_PIN = 16;
```

```
const int TX_PIN = 17;
```

```
const int pinLed = 18;
```

```
const int BAUD_RATE = 9600;
```

```
String sendAT(String command)
```

```
{  
  String response = "";  
  mySerial.println(command);  
  
  delay(5);  
  long int time = millis();  
  while((time+TIMEOUT_AT) > millis())  
  {  
    while(mySerial.available())  
      response += char(mySerial.read());  
  
  }  
  Serial.println(response);  
  return response;  
}
```

```
void serialConfig()
```

```
{  
  Serial.begin(115200);  
  
  mySerial.begin(BAUD_RATE, SERIAL_8N1, RX_PIN, TX_PIN); //Esp32 lora 0 =  
  RX, 22 = TX  
}
```

```
bool smsConfig()
{

    if(sendAT("AT+CMGF=1").indexOf("OK") < 0)
        return false;

    return true;
}

bool baudConfig()
{

    if(sendAT("AT+IPR="+String(BAUD_RATE)).indexOf("OK") >= 0)
        return true;

    return false;
}

void setup()
{
    pinMode(pinLed, OUTPUT);
    pinMode(PWR_MODEM, OUTPUT);
    pinMode(RST_MODEM, OUTPUT);

    digitalWrite(PWR_MODEM,LOW);
    digitalWrite(RST_MODEM,LOW);

    //PowerON SIM808
    digitalWrite(PWR_MODEM,HIGH);
    delay(800);
    digitalWrite(PWR_MODEM,LOW);
    delay(1000);
}
```

```
serialConfig();
Serial.println("");
Serial.println("Waiting...");
delay(3000);

if(!baudConfig())
    ESP.restart();

if(!smsConfig())
{
    Serial.println("SMS config failed!");
    delay(3000);
    ESP.restart();
}

Serial.println("SMS config ok");

if(!modemConfig(mySerial))
{
    Serial.println("Modem init fail");
    delay(5000);
    ESP.restart();
}
Serial.println("Modem ok");

}

void loop()
{
    String SMS_text = "prueba";
    if(sim808.sendSMS(CELLNUMBER, SMS_text))
        Serial.println("Device SMS sent");
    delay(3000);
}
```

3.12. Código final cargado al ESP32

Luego de la prueba de cada uno de los sensores y del módulo GSM para la verificación de que cada sensor trabaja correctamente, se procede ensamblar el código final uniendo y configurando los códigos antes probados.

El siguiente código se realizó para cargarlo al ESP32, por el cual obtendrá la información de los sensores y los subirá a los servidores de ThinkSpeak.

```
// PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN  
METEOROLÓGICA AGRÍCOLA AUTOSUSTENTABLE  
// PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN CULTIVOS DE  
CACAO MEDIANTE RASPBERRY PI  
// AUTORES: CARLOS BALLADARES, DANNY LÓPEZ
```

```
//LIBRERIAS
```

```
#include "DHT.h" //Temperatura Ambiente y Humedad relativa  
#include <OneWire.h> // Temperatura de Suelo  
#include <DallasTemperature.h> // Temperatura de Suelo  
#include <Wire.h> // Humedad Suelo - Sensor UV - Dirección del viento  
#include <Adafruit_ADS1015.h> //Humedad Suelo - Sensor UV - Dirección del viento  
#include <ThingSpeak.h>  
#include <WiFi.h>  
#include <Arduino.h>  
#include <HardwareSerial.h>  
#include "GPRS_Functions.h"
```

```
//CONSTANTES
```

```
const char* ssid = "GHOST"; // SSID WIFI  
const char* password = "margarita7273"; // Password WIFI  
unsigned long myChannelNumber = 1259128; // Thingspeak número de canal  
const char * myWriteAPIKey = "G6NP7M03AIF56380"; // ThingSpeak write API Key  
WiFiClient espClient;
```

```
HardwareSerial mySerial(2); // GPRS
const String CELLNUMBER = "+5939939883629"; // Número que recibe las alertas
SMS

// CONECTANDO A RED WIFI

void setup_wifi() {
  delay(10);

  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  ThingSpeak.begin(espClient); // Inicia WIFI

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  randomSeed(micros());

  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

//CONFIGURACIÓN SMS - GPRS
#define PWR_MODEM 13
#define RST_MODEM 14
```

```
bool smsSent = false;
const int TIMEOUT_AT = 2000;

const int RX_PIN = 16;
const int TX_PIN = 17;

const int pinLed = 18;
const int BAUD_RATE = 9600;

String sendAT(String command)
{
  String response = "";
  mySerial.println(command);

  delay(5);
  long int time = millis();
  while((time+TIMEOUT_AT) > millis())
  {
    while(mySerial.available())
      response += char(mySerial.read());
  }
  Serial.println(response);
  return response;
}

void serialConfig()
{
  //Seteo de baud rate
  Serial.begin(115200);

  mySerial.begin(BAUD_RATE, SERIAL_8N1, RX_PIN, TX_PIN); //Esp32 lora 0 =
```

```
RX, 22 = TX  
}
```

```
//Configuración de mensajes SMS
```

```
bool smsConfig()
```

```
{
```

```
    //Define modo SMS para texto (0 = PDU mode, 1 = Text mode)
```

```
    if(sendAT("AT+CMGF=1").indexOf("OK") < 0)
```

```
        return false;
```

```
    return true;
```

```
}
```

```
bool baudConfig()
```

```
{
```

```
    if(sendAT("AT+IPR="+String(BAUD_RATE)).indexOf("OK") >= 0)
```

```
        return true;
```

```
    return false;
```

```
}
```

```
//TEMP. AMBIENTE - HUMEDAD
```

```
#define DHTPIN 2
```

```
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
float temperaturaThreshold = 25.0; // Límite de Temperatura - Lo normal debe estar  
entre 24 y 26 grados no sobrepasar los 30
```

```
float humedadThreshold = 56.0; // Límite de Humedad relativa - Lo normal debe estar  
entre 70 y 80%
```

```
//TEMP. SUELO
#define oneWireBus 4
OneWire oneWire(oneWireBus);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

//Humedad Suelo - UV - Dirección del viento
Adafruit_ADS1115 ads(0x49);
float Voltage = 0.0; // Humedad de Suelo
float Voltage1 = 0.0; // Rayos UV
float Voltage2 = 0.0; // Dirección del viento

// Cantidad de Lluvia
#define S_IN_DAY 86400
#define S_IN_HR 3600
#define NO_RAIN_SAMPLES 2000
// Pin assignment definitions
#define RAIN_PIN 12

float precipitacionThreshold = 2500; // Rangos de 1500 - 2500 mm

// Variables y constantes para usar en calculos de velocidad de viento
volatile unsigned long timeSinceLastTick = 0;
volatile unsigned long lastTick = 0;

volatile long rainTickList[NO_RAIN_SAMPLES];
volatile int rainTickIndex = 0;
volatile int rainTicks = 0;
int rainLastDay = 0;
int rainLastHour = 0;
int rainLastHourStart = 0;
int rainLastDayStart = 0;
long secsClock = 0;
```

```
void rainTick(void)
{
  rainTickList[rainTickIndex++] = secsClock;
  if (rainTickIndex == NO_RAIN_SAMPLES) rainTickIndex = 0;
  rainTicks++;
}
```

```
void windTick(void)
{
  timeSinceLastTick = millis() - lastTick;
  lastTick = millis();
}
```

```
// SENSOR Velocidad de viento
```

```
float windSpeed = 0.0;
#define WIND_SPD_PIN 05
```

```
//SENSOR UV
```

```
String UV_range(int vin){
  String indice;
  int UV_Val_RAMBAL = vin;

  if(vin < 10) {
    indice = "0, nivel bajo"; }
  else { if(UV_Val_RAMBAL < 46) {
    indice = "1, nivel bajo"; }
  else { if(UV_Val_RAMBAL < 65) {
    indice = "2, nivel bajo"; }
  else { if(UV_Val_RAMBAL < 83) {
    indice = "3, nivel moderado"; }
  else { if(UV_Val_RAMBAL < 103) {
```

```

    indice = "4, nivel moderado"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 124) {
indice = "5, nivel moderado"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 142) {
    indice = "6, nivel ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 163) {
    indice = "7, nivel ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 180) {
indice = "8, nivel MUY ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 200) {
indice = "9, nivel MUY ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 221) {
indice = "10, nivel MUY ALTO"; }
else { if(UV_Val_RAMBAL < 239) {
    indice = "11, nivel Ext. ALTO 'Peligro'"; }
else {
    indice = "11+, nivel Ext. ALTO 'Peligro'"; }
}}}}}}}}
}

return indice;
}

```

//DIRECCIÓN DEL VIENTO

```

String windDirCalc(int vin){
    String windDir;

    if (vin < 1707) windDir = "112.5";
    else if (vin < 2187) windDir = "67.5";
    else if (vin < 2400) windDir = "90.0";
    else if (vin < 3307) windDir = "157.5";
    else if (vin < 4800) windDir = "135.0";
    else if (vin < 6347) windDir = "202.5";
    else if (vin < 7467) windDir = "180.0";

```

```
else if (vin < 10560) windDir = "22.5";
else if (vin < 12000) windDir = "45.0";
else if (vin < 15627) windDir = "247.5";
else if (vin < 16427) windDir = "225.0";
else if (vin < 18293) windDir = "337.5";
else if (vin < 20480) windDir = "0.0";
else if (vin < 21547) windDir = "292.5";
else if (vin < 23093) windDir = "315.0";
else if (vin < 24640) windDir = "270.0";
else windDir = "0";

return windDir;
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("DHTxx test!"); //TEMP Y HUMEDAD AMBIENTE

  dht.begin();
  sensors.begin();
  ads.begin();
  setup_wifi();

  pinMode(RAIN_PIN, INPUT); // Sensor de lluvia
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(RAIN_PIN), rainTick, RISING);
  for (int i = 0; i < NO_RAIN_SAMPLES; i++) rainTickList[i] = 0;

  // Velocidad del viento
  pinMode(WIND_SPD_PIN, INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(WIND_SPD_PIN), windTick, FALLING);

  // GSM - GPRS
```

```
pinMode(pinLed, OUTPUT);
pinMode(PWR_MODEM, OUTPUT);
pinMode(RST_MODEM, OUTPUT);

digitalWrite(PWR_MODEM,LOW);
digitalWrite(RST_MODEM,LOW);

//PowerON SIM808

digitalWrite(PWR_MODEM,HIGH);
delay(800);
digitalWrite(PWR_MODEM,LOW);
delay(1000);

serialConfig();
Serial.println("");
Serial.println("Waiting...");
delay(3000);

if(!baudConfig())
    ESP.restart();

if(!smsConfig())
{
    Serial.println("SMS config failed!");
    delay(3000);
    ESP.restart();
}

Serial.println("SMS config ok");

//Configura e inicializa el GPRS
if(!modemConfig(mySerial))
{
```

```
Serial.println("Modem init fail");
delay(5000);
ESP.restart();
}
Serial.println("Modem ok");

}

void loop() {
// Espera de 2 segundos para cada muestra del loop
delay(5000);

//TEMP Y HUMEDAD AMBIENTE

float h = dht.readHumidity();
// Lectura de temperatura en grados celsius
float t = dht.readTemperature();
// Lectura de temperatura en fahrenheit (isFahrenheit = true)
float f = dht.readTemperature(true);

// Chequea si las lecturas del sensor fallan
if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
  Serial.println(F("Falla en la lectura del sensor DHT!"));
  return;
}

float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);

Serial.print(F("Humedad: "));
Serial.print(h);
Serial.print(F("% Temperatura: "));
Serial.print(t);
```

```
Serial.print(F("°C "));  
Serial.print(f);  
Serial.print(F("°F Heat index: "));  
Serial.print(hic);  
Serial.print(F("°C "));  
Serial.print(hif);  
Serial.println(F("°F"));
```

```
//Temperatura de Suelo
```

```
sensors.requestTemperatures();  
float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);  
float temperatureF = sensors.getTempFByIndex(0);  
Serial.print(temperatureC);  
Serial.println("°C");  
Serial.print(temperatureF);  
Serial.println("°F");
```

```
//Humedad de Suelo
```

```
int16_t adc0;  
  
adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0);  
Voltage = adc0*(0.1875/1000); //V  
  
Serial.print("ADC: ");  
Serial.print(adc0);  
Serial.print("\tVoltaje: ");  
Serial.println(Voltage, 7);  
Serial.println();
```

```
// Cantidad de Lluvia
static unsigned long outLoopTimer = 0;
static unsigned long wundergroundUpdateTimer = 0;
static unsigned long clockTimer = 0;
static unsigned long tempMSClock = 0;

tempMSClock += millis() - clockTimer;
clockTimer = millis();
while (tempMSClock >= 1000){
    secsClock++;
    tempMSClock -= 1000;
}

if (millis() - outLoopTimer >= 2000){
    outLoopTimer = millis();

    Serial.print("\nTimestamp: ");
    Serial.println(secsClock);

    Serial.print("Rainfall last hour: ");
    Serial.println(float(rainLastHour)*0.011, 3);
    Serial.print("Rainfall last day: ");
    Serial.println(float(rainLastDay)*0.011, 3);
    Serial.print("Rainfall to date: ");
    Serial.println(float(rainTicks)*0.011, 3);

    rainLastHour = 0;
    rainLastDay = 0;

    if (rainTicks > 0)
    {

        int i = rainTickIndex-1;
```

```
while ((rainTickList[i] >= secsClock - S_IN_HR) && rainTickList[i] != 0)
{
    i--;
    if (i < 0) i = NO_RAIN_SAMPLES-1;
    rainLastHour++;
}

i = rainTickIndex-1;
while ((rainTickList[i] >= secsClock - S_IN_DAY) && rainTickList[i] != 0)
{
    i--;
    if (i < 0) i = NO_RAIN_SAMPLES-1;
    rainLastDay++;
}
rainLastDayStart = i;
}
}

//Sensor UV

int16_t adc1;

adc1 = ads.readADC_SingleEnded(1);
Voltage1 = adc1*(0.1875); //mV

Serial.print("ADC: ");
Serial.print(adc1);
Serial.print("\tmV: ");
Serial.println(Voltage1, 7);
Serial.println();
Serial.print("Indice: ");
Serial.println(UV_range(Voltage1));
Serial.println();
```

```
// Velocidad del viento
```

```
Serial.print("\nTimestamp: ");  
Serial.println(secsClock);
```

```
if (timeSinceLastTick != 0) windSpeed = 1000.0/timeSinceLastTick;  
Serial.print("Windspeed: ");  
Serial.print(windSpeed*1.492);  
Serial.println(" mph");
```

```
// Dirección del viento
```

```
int16_t adc2;
```

```
adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);  
Voltage2 = adc2*(0.1875/1000);
```

```
Serial.print("ADC: ");  
Serial.print(adc2);  
Serial.print("\tVoltage: ");  
Serial.println(Voltage2, 7);  
Serial.println();  
Serial.print("Wind Dir: ");  
Serial.println(windDirCalc(adc2));  
Serial.println();
```

```
// CONFIGURACIONES DE UMBRALES
```

```
if ((t > temperaturaThreshold) && !smsSent){  
  String SMS_text = String ("Temperatura esta elevandose: ") + String (t) + String (" C");  
  if(sim808.sendSMS(CELLNUMBER, SMS_text)) {
```

```

Serial.println("Mensaje enviado");
smsSent = true;
}
}
if ((h > humedadThreshold) && !smsSent){
String SMS_text = String ("Humedad relativa esta elevandose: ") + String (h) + String
(" %");
if(sim808.sendSMS(CELLNUMBER, SMS_text)) {
Serial.println("Mensaje enviado");
smsSent = true;
}
}
if ((h > precipitacionThreshold) && !smsSent){
String SMS_text = String ("Precipitacion ha sobrepasado el limite: ") + String
(rainTicks) + String (" mm");
if(sim808.sendSMS(CELLNUMBER, SMS_text)) {
Serial.println("Mensaje enviado");
smsSent = true;
}
}

else{
Serial.println("Mensaje no enviado");
}
}

```

```

//ThingSpeak
//Carga los valores a enviar
ThingSpeak.setField(1, (float)t); //Temperatura Ambiente
ThingSpeak.setField(2, (float)h); // Humedad relativa
ThingSpeak.setField(3, (float)temperatureC); //Temperatura del suelo
ThingSpeak.setField(4, (float)Voltage); //Humedad del suelo
ThingSpeak.setField(5, (float)Voltage1); //UV
ThingSpeak.setField(6, (float)Voltage2); //Dirección del viento

```

```
ThingSpeak.setField(7, (float)windSpeed); //Velocidad del viento  
ThingSpeak.setField(8, (float)rainTicks); //Cantidad de lluvia
```

```
//Escribe todos los campos a la vez.  
ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);  
Serial.println("¡Datos enviados a ThingSpeak!");  
delay(5000);  
}
```

4. Resultados

Para revisar los resultados que se obtienen luego de haber cargado el código final mediante el IDE de Arduino desde la Raspberry Pi hacia el ESP32, se lo puede hacer de dos maneras.

Primero, visualización de manera local a través de las Raspberry Pi y el IDE de Arduino se puede observar los datos obtenidos mediante la conexión serial entre la Raspberry Pi y el ESP32.

Como se puede apreciar en la gráfica, se muestran todos los valores obtenidos de los sensores en un lapso de 120 segundos.

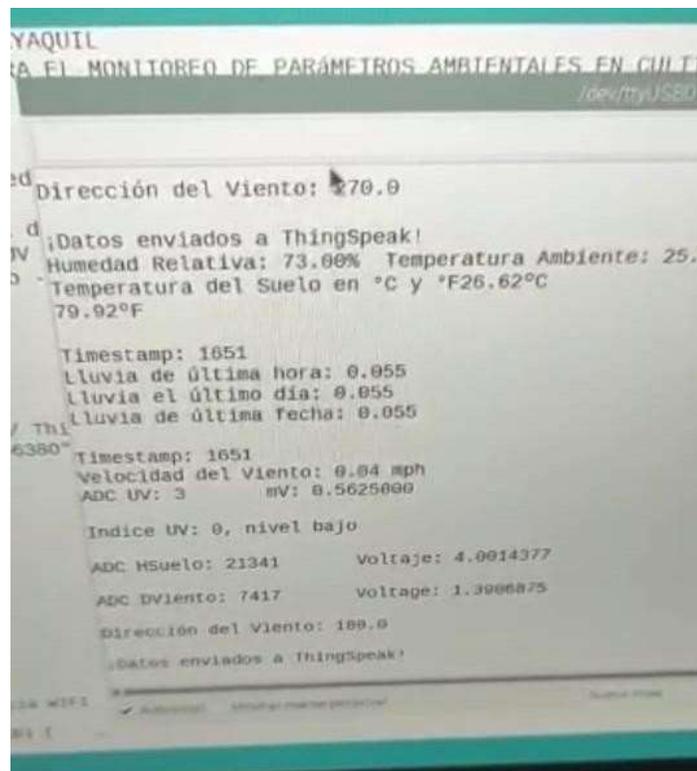


Figura 4.1 Monitorización local de parámetros del prototipo IoT

La segunda manera de visualizar los resultados de los sensores del prototipo IoT es mediante la plataforma ThinkSpeak, la cual se obtiene una cuenta gratuita limitada para la visualización de la información almacenada en los servidores de la nube de ThinkSpeak.

Previamente se debe crear una cuenta en ThinkSpeak. Para poder tener cuenta hay que realizarlo mediante mail de la UPS ya que se mantiene una licencia de campus para productos de Matlab y al ser ThinkSpeak parte de Matlab entonces se puede obtener a una licencia gratuita por un año.

Se crea una cuenta con correo de la universidad del estudiante Carlos Balladares tesista del proyecto.

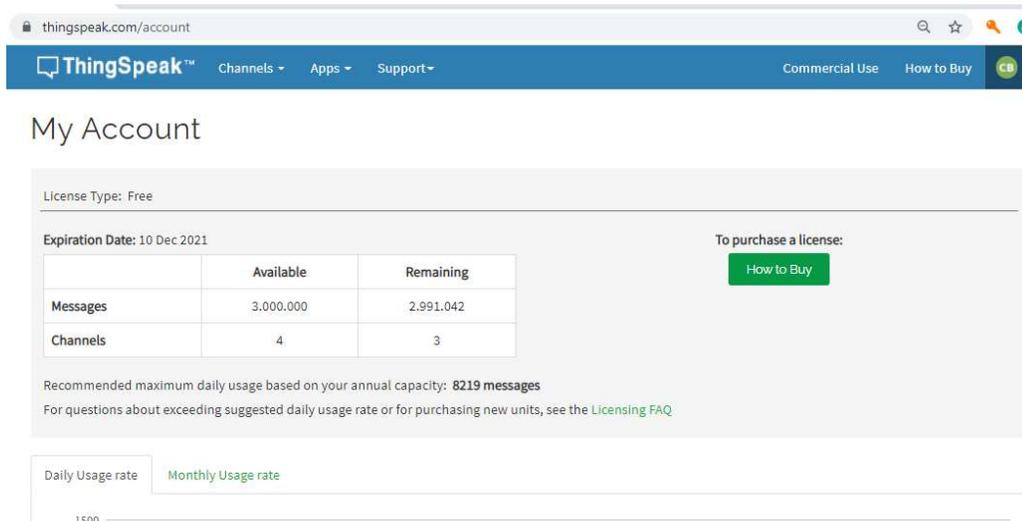


Figura 4.2 Cuenta de ThinkSpeak

Como se puede observar en la gráfica 4.2, al crear una cuenta en ThinkSpeak se obtiene una licencia gratuita por un año, con 3000000 de mensajes para poder visualizar y almacenar. Se obtienen 4 canales gratuitamente y una capacidad diaria recomendada de 8219 mensajes. Lo cual para el prototipo es suficiente.

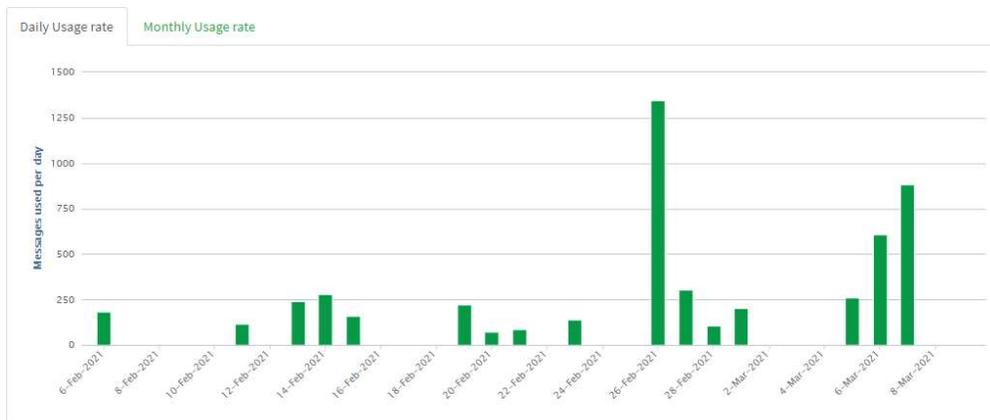


Figura 4.3 Estadísticas de la cuenta de ThinkSpeak



Figura 4.4 Disponibilidad de emails de alerta

Luego de las revisiones de las configuraciones principales de la cuenta de ThinkSpeak se crea el canal “Prototipo IOT Agrícola”.

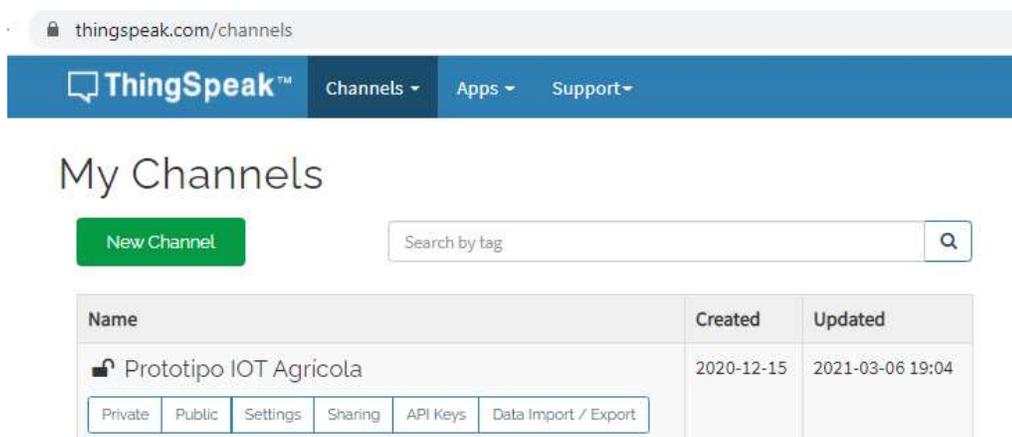


Figura 4.5 Canal del prototipo

El ID del canal es el 1259128 y se dispone de acceso público y privado al canal.

thingspeak.com/channels/1259128/edit

ThingSpeak™ Channels Apps Support

Prototipo IOT Agrícola

Channel ID: **1259128**
Author: [mwa0000020599603](#)
Access: Public

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA AGRÍCOLA AUTOSUSTENTABLE PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN CULTIVOS DE CACAO MEDIANTE RASPBERRY PI Autores: Carlos Balladares, Danny López Universidad Politécnica Salesiana -

Figura 4.6 ID de Canal

Las configuraciones básicas realizadas en la cuenta de ThinkSpeak son las siguientes:

Percentage complete 50%

Channel ID 1259128

Name Prototipo IOT Agrícola

Description DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA AGRÍCOLA

Field 1 Temperatura Ambient

Field 2 Humedad relativa

Field 3 Temperatura del suelo

Field 4 Humedad de suelo

Field 5 Rayos UV

Field 6 Dirección de viento

Field 7 Velocidad de Viento

Field 8 Cantidad de lluvia

Metadata

Figura 4.7 Configuraciones principales del canal

ThingSpeak™ Channels Apps Support

Tags
(Tags are comma separated)

Link to External Site

Link to GitHub

Elevation

Show Channel Location

Latitude

Longitude

Show Video

YouTube
 Vimeo

Video URL

Show Status

[Save Channel](#)

Figura 4.8 Configuraciones de latitud y longitud

Se comparte de canal con acceso público.

Private View **Public View** Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Channel Sharing Settings

Keep channel view private
 Share channel view with everyone
 Share channel view only with the following users:

Email Address [Add User](#)

Help

ThingSpeak allows you the settings on this tab requires the appropriate

Channel Sharing

- Keep channel view private
- Share channel view with everyone

Figura 4.9 Canal compartido

Mediante el API Key de lectura y escritura se obtendrá la data desde el dispositivo IoT meteorológico.

ThingSpeak™ Channels Apps Support

Salesiana -

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data I

Write API Key

Key

[Generate New Write API Key](#)

Read API Keys

Key

Note

[Save Note](#) [Delete API Key](#)

Figura 4.10 API Key

La exportación de datos es utilizada para almacenar la información en un formato Excel CVS.

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Import

Upload a CSV file to import data into this channel.

File Ningún arc...leccionado

Time Zone

[Upload](#)

Export

Download all of this Channel's feeds in CSV format.

Time Zone

[Download](#)

Help

Import

The correct format for dat field names *field1, field2,*

[CSV Import Format](#)

```
datetime,field1,fiel
2019-01-01T10:11:12-
```

Other Import ar

You can also use MATLAB,

[Read Data](#)

[Write Data](#)

Figura 4.11 Almacenamiento de datos

4.1. Visualización de datos en ThinkSpeak vía web.

Se realiza la configuración para la visualización de datos mediante los dashboards de ThinkSpeak de manera web utilizando cualquier navegador.

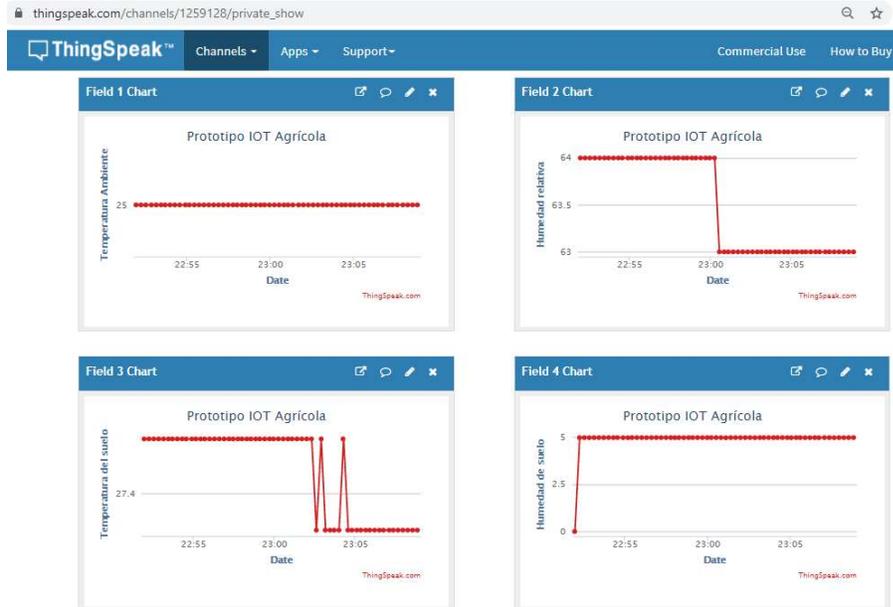


Figura 4.12 Visualización de sensores Temperatura ambiente, temperatura del suelo y humedad

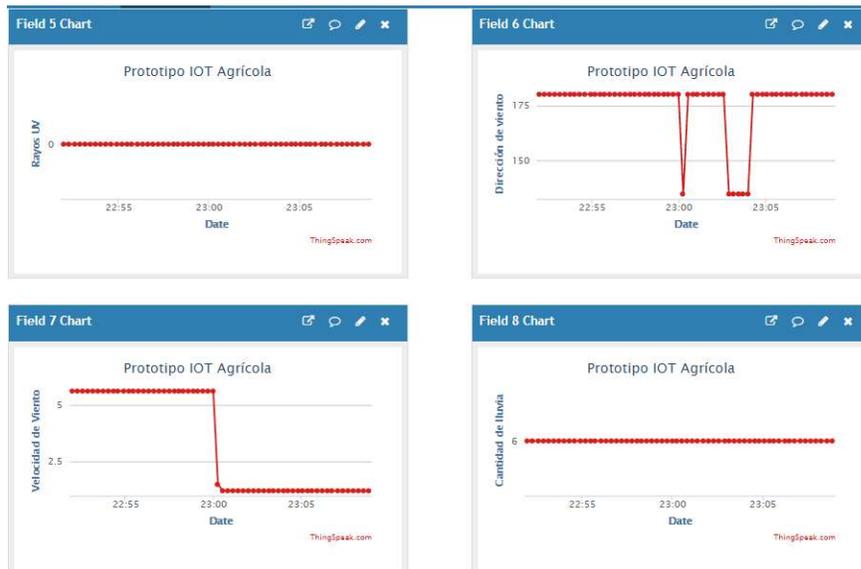


Figura 4.13 Visualización de sensores UV, Dirección del viento, velocidad del viento

cantidad de lluvia



Figura 4.14 Ubicación del prototipo

En canal público se agregan más dashboards como los siguientes:

Visualización de gráficas de temperatura en 3 días diferentes.

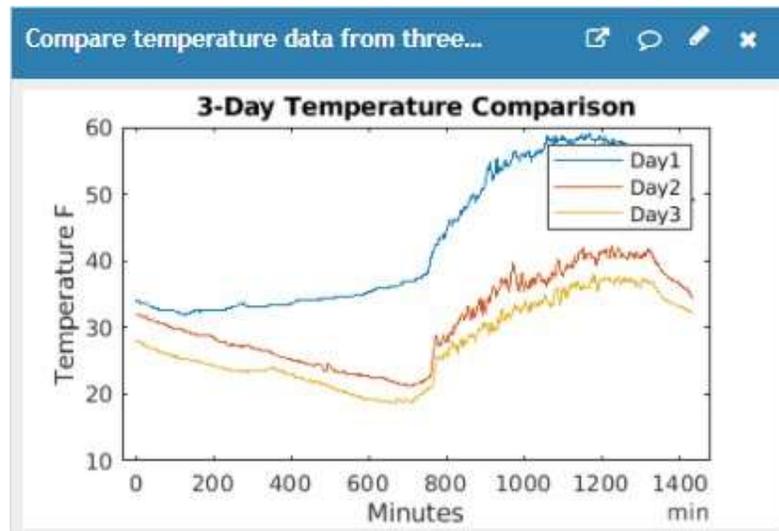


Figura 4.15 Estadísticas de temperatura

4.2. Visualización de datos en ThinkSpeak vía APP.

Para visualizar la información de los datos sensados del prototipo se realiza la instalación de la APP Thingshow en celular Android o iPhone.

Se procede a descargar de Google play la app y luego se procede a configurar con el número de canal de ThinkSpeak. Se ingresa a Add Channel para la configuración.



Figura 4.16 Pantalla principal de APP Thingshow

Una vez agregado el canal se observa que se tiene acceso a la data para visualización.

Se verifica que la misma información vista vía browser también puede ser monitorizada vía APP mediante la aplicación gratuita Thingview.

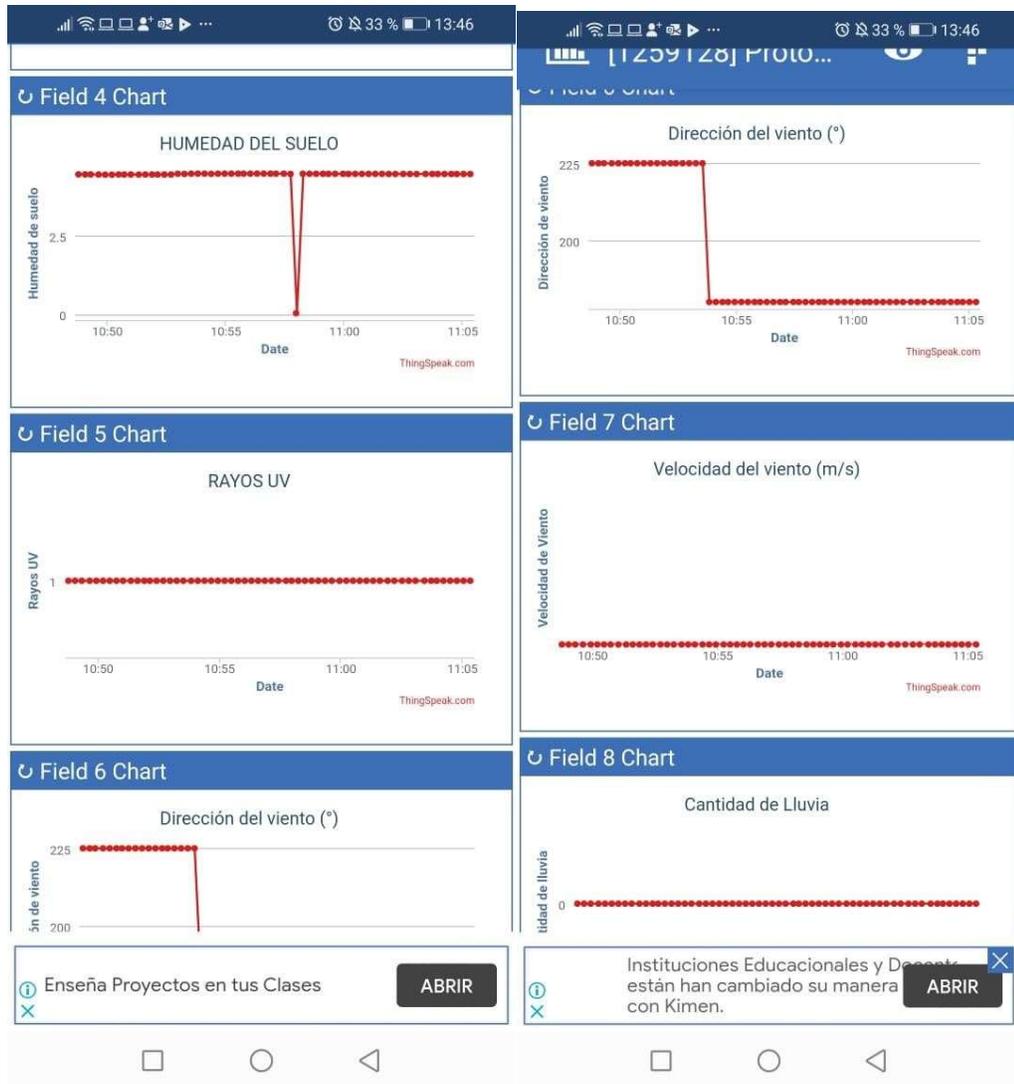


Figura 4.17 Datos promedios en APP

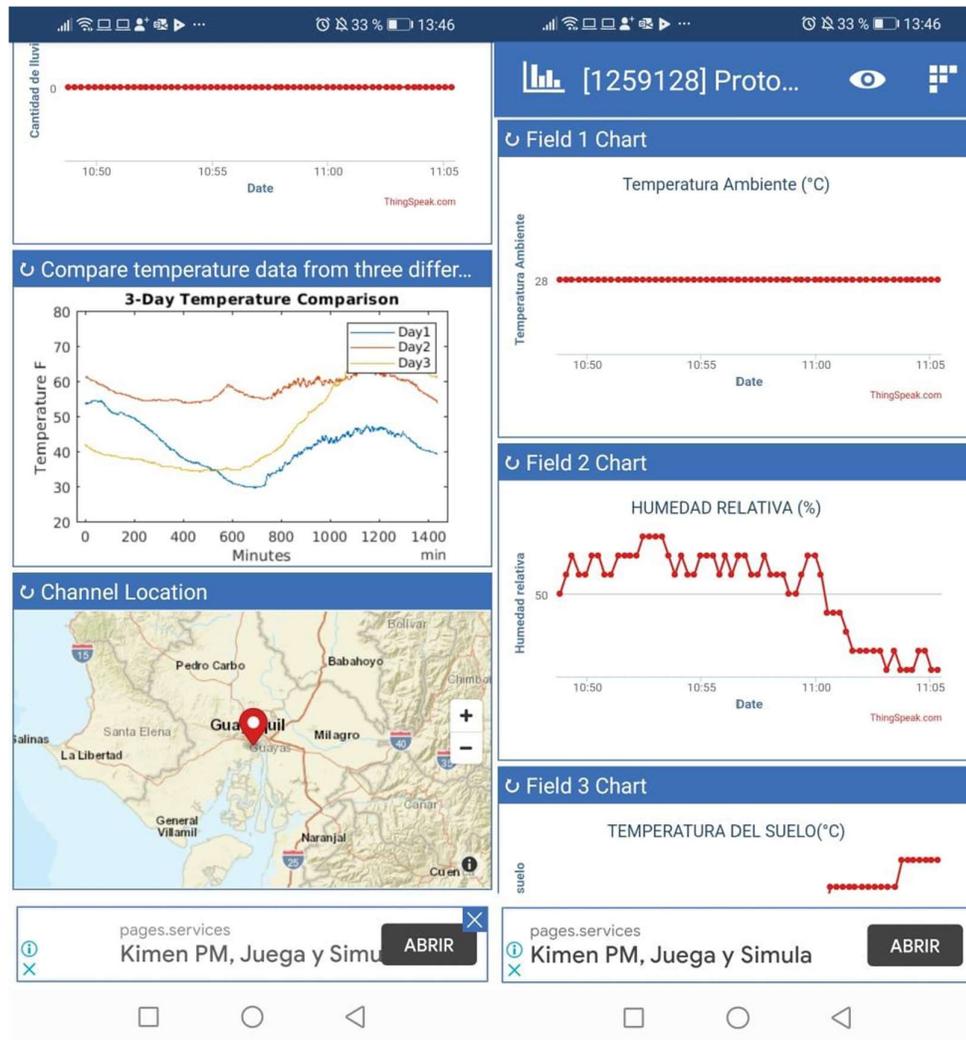


Figura 4.18 Datos de sensores

Hay que tener en cuenta que mediante el celular se puede tener acceso vía web con la dirección del canal que es el siguiente:

<https://thingspeak.com/channels/1259128>

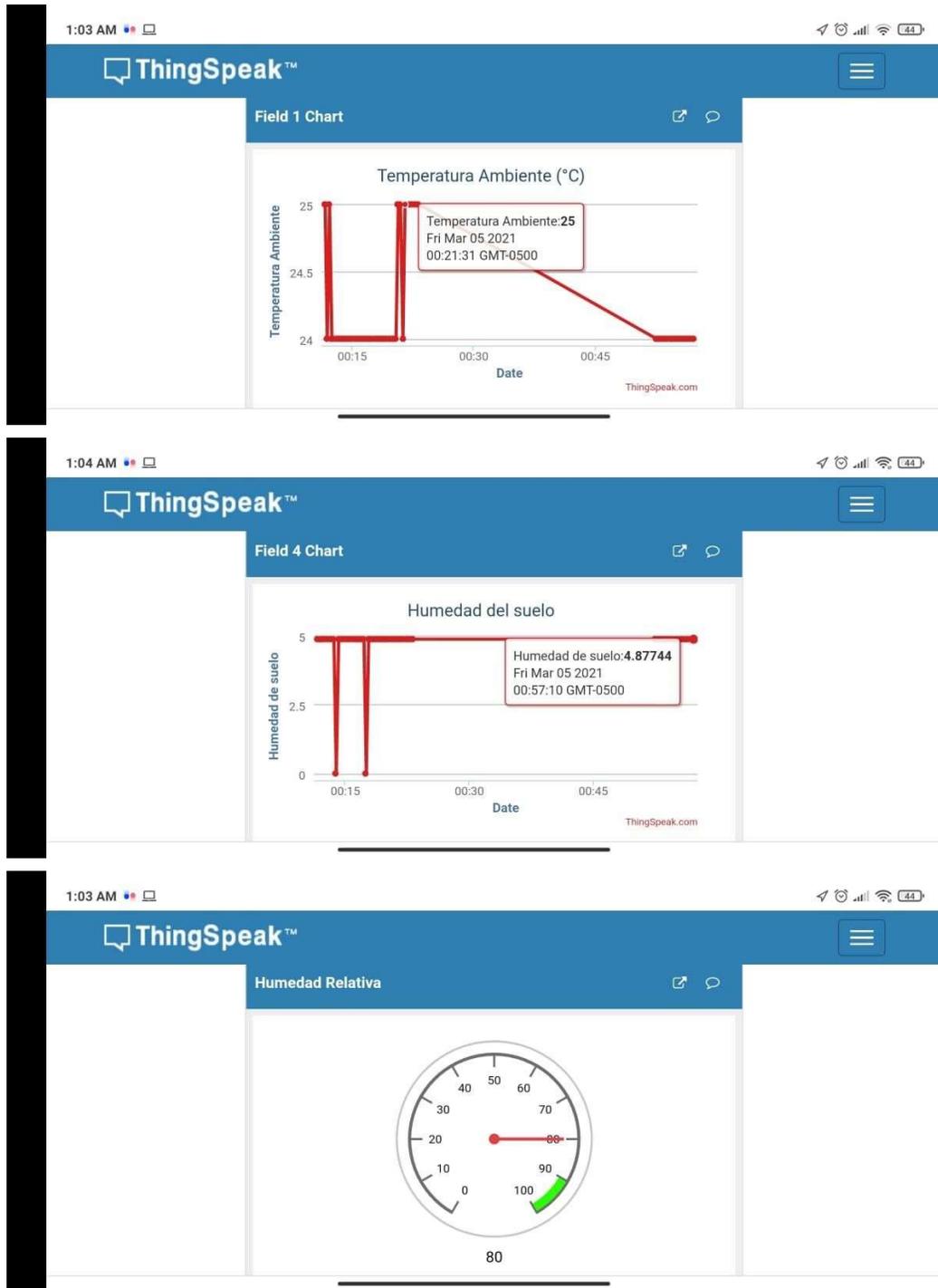


Figura 4.19 Visualización vía web desde el celular

4.3. Visualización de datos de alerta en SMS.

Como parte de los objetivos de este trabajo de investigación se realiza monitorización mediante alertas con umbrales diseñados para que a medida que sobrepase estos umbrales se envíe un SMS al celular registrado como operador de los cultivos de cacao.

Uno de los valores más importantes a monitorizar es la temperatura ambiente ya que es un indicativo para que el cultivo se mantenga libre de plagas.



Figura 4.20 SMS de monitorización

Se observa en la figura 4.23 que los mensajes llegan en un formato en texto plano previamente configurado en el ESP32.

Al elevar la temperatura y sobrepase los 28 °C se alerta al SMS.

5. Análisis de resultados

En este apartado se realizará el análisis de los resultados obtenidos durante el tiempo que se ha mantenido en monitoreo los sensores del prototipo.

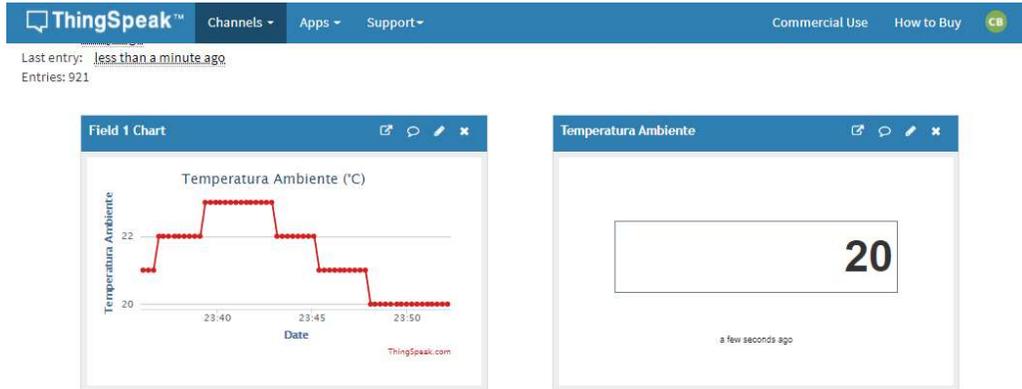


Figura 5.1 Monitorización por ThinkSpeak

Para el análisis de resultados de los datos obtenidos por los sensores hay que considera algunos aspectos como los siguientes:

- El prototipo IoT se probó en la ciudad de Guayaquil a una temperatura ambiente de 25° y humedad relativa aproximada de entre 80% y 90%.
- Las pruebas fueron durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo del 2021.
- Durante las pruebas realizadas habrá valores erróneos en vista que se estaba afinando el prototipo para obtener datos de una manera más fiable.
- Uno de los problemas encontrados al inicio es que el sensor de humedad relativa no estaba marcando una data correcta, por lo q se procedió a cambiar de sensor.

Se realiza la descarga en el apartado de exportación data en ThinkSpeak. Se obtiene un Excel con los siguientes campos:

Tabla 5.1 Muestra de datos obtenidos por los sensores

Fecha de datos	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Temperatura suelo (°C)	Humedad suelo (ppm)	Rayos UV	Dirección viento (grados)	Velocidad viento (m/s)	Cantidad lluvia (ppm)
2020-12-14 22:05:54 -05	22,00	43,00	22,81	0,00	4974,75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:06:11 -05	22,00	33,00	22,81	1,39	4974,38	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:06:29 -05	22,00	33,00	22,75	0,00	4974,75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:06:47 -05	22,00	33,00	22,69	0,00	4974,75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:07:03 -05	22,00	33,00	22,69	1,39	4973,25	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:07:21 -05	22,00	33,00	22,56	0,00	4974,19	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:07:38 -05	22,00	33,00	22,50	0,00	4969,13	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:07:56 -05	22,00	33,00	22,44	0,00	4971,94	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:08:13 -05	22,00	33,00	22,38	0,00	4974,56	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:08:30 -05	22,00	33,00	22,25	0,00	4974,19	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:08:48 -05	22,00	33,00	22,25	0,00	4974,38	1,39	0,00	0,00

2020-12-14					4974,			
22:09:10 -05	22,00	33,00	22,19	0,00	56	1,39	0,00	0,00

2020-12-14 22:09:27 -05	22,00	33,00	22,13	0,00	4974, 38	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:09:45 -05	22,00	33,00	22,06	0,00	4974, 75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:10:02 -05	22,00	33,00	22,00	0,00	4974, 38	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:10:20 -05	22,00	33,00	22,00	0,00	4966, 31	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:10:37 -05	22,00	33,00	21,88	0,00	4974, 94	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:10:55 -05	22,00	33,00	21,88	0,00	4974, 38	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:11:12 -05	22,00	33,00	21,88	0,00	4974, 94	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:11:29 -05	22,00	33,00	21,81	0,00	4974, 19	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:11:47 -05	22,00	33,00	21,81	0,00	4974, 75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:12:04 -05	22,00	33,00	21,75	0,00	4974, 56	4,97	0,00	0,00
2020-12-14 22:12:22 -05	22,00	33,00	21,69	0,00	4974, 38	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:12:40 -05	22,00	33,00	21,69	0,00	4974, 38	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:12:58 -05	22,00	33,00	21,75	0,00	4974, 75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:13:15 -05	22,00	33,00	21,88	0,00	4974, 75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:13:32 -05	22,00	33,00	22,00	0,00	4974, 75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:13:50 -05	22,00	33,00	22,19	0,00	4969, 13	1,39	0,00	0,00

2020-12-14 22:14:07 -05	22,00	33,00	22,38	0,00	4974, 94	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:14:24 -05	22,00	33,00	22,56	0,00	4974, 75	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:14:41 -05	22,00	33,00	22,81	0,00	4974, 38	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:14:59 -05	22,00	33,00	23,06	1,39	4974, 38	1,39	0,00	0,00
2020-12-14 22:15:16 -05	23,00	32,00	23,31	1,39	4974, 56	4,97	0,00	0,00
2020-12-14 22:15:34 -05	23,00	32,00	23,63	1,39	4968, 75	1,39	0,00	0,00

5.1. Análisis de datos de temperatura ambiente

Con los datos obtenidos se realizan graficas dinámicas en las cuales se observará la cantidad de datos obtenidos con los valores en promedio de la temperatura ambiente.

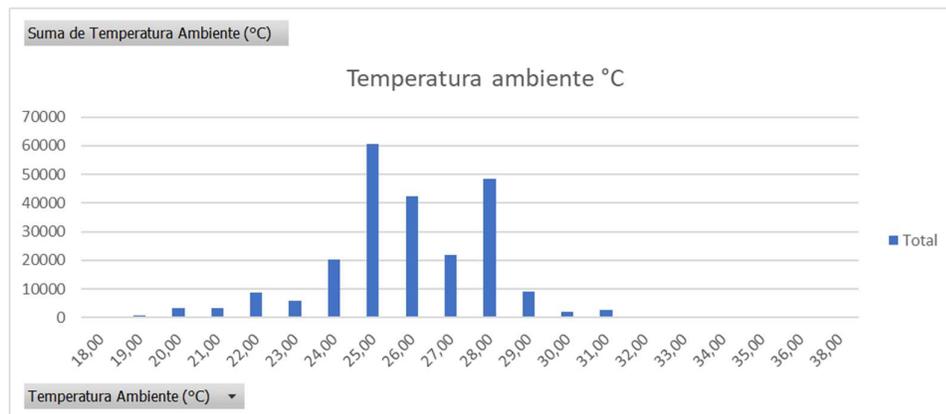


Figura 5.2 Cantidad de datos de temperatura ambiente

Se obtuvieron en mayor cantidad un promedio de temperatura de 25°C. Tal como muestra la gráfica hubo 60575 datos que marcaron este valor en un lapso de 30 segundos.

La temperatura se mostró de acuerdo con las condiciones adecuadas para las plantas de cacao que están entre los 25 a 30 grados centígrados.

Cabe indicar que el sensor DTH11 no mide en decimales por lo tanto los valores sensados son redondeados.

5.2. Análisis de datos de humedad relativa

La humedad relativa en la ciudad de guayaquil donde se probó el prototipo fluctúa entre los 80% a 90%, en épocas lluviosas llega hasta los 95%.

Sin embargo, se verificó que al inicio el sensor de humedad marcaba valores muy por debajo de la media, por lo que se concluyó que el sensor estaba averiado, cambiándolo por uno nuevo que marca entre 60% y 80% dependiendo del ambiente y la hora.

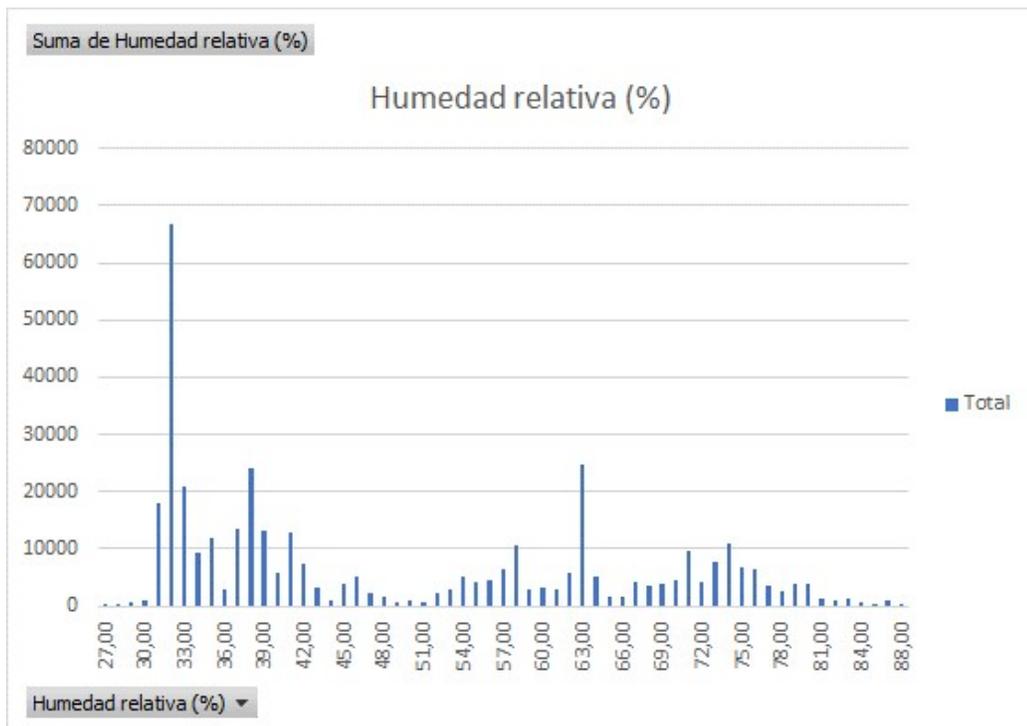


Figura 5.3 Gráfica de humedad relativa

5.3. Análisis de datos de temperatura de suelo

Para tomar datos de temperatura de suelo se conectó el sensor DS28B20 en la superficie de la tierra de la maqueta donde se encuentra las plantas de cacao.

Se obtuvieron datos más precisos con decimales ya que este sensor es tipo sonda y tiene mayor fiabilidad en la toma de datos.

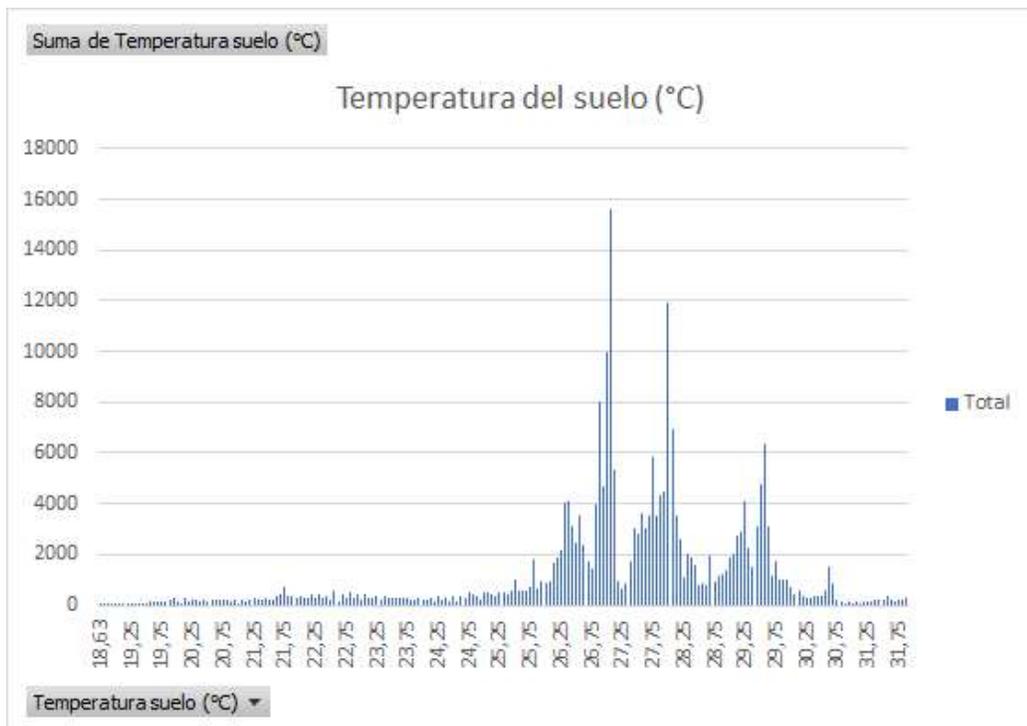


Figura 5.4 Datos del sensor de temperatura del suelo

En promedio se obtuvieron datos entre 26 y 29°C que es lo esperado para el prototipo.

5.4. Análisis de datos de humedad de suelo

El sensor de humedad de suelo mide los niveles de humedad que encuentra en la tierra del macetero de la maqueta del prototipo. Como se puede observar en la gráfica un nivel alto de humedad corresponde a valores aproximados a 5 y valor bajo de

humedad corresponde a valores aproximados a 0.

Durante las pruebas se ha mantenido el suelo del macetero humedecido por tal motivo se observa en la gráfica que el valor es aproximado a 5.

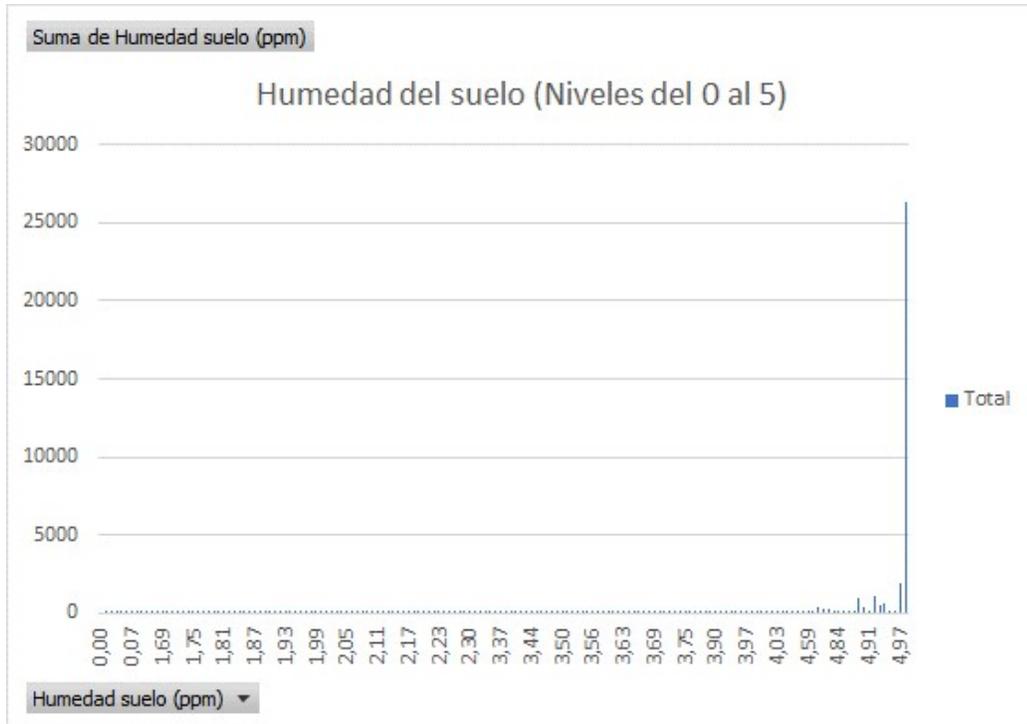


Figura 5.5 Datos de humedad de suelo

5.5. Análisis de datos de rayos UV

Los datos obtenidos con el sensor UV muestran valores erróneos al inicio de las pruebas del prototipo, esto se refiere a valores en partes por millón ppm, sin embargo, con la corrección del código se programa para q los valores que aparezcan sea mediante niveles.

Se obtuvo más datos en nivel 0 ya que la mayoría de las pruebas fueron realizadas en las noches.

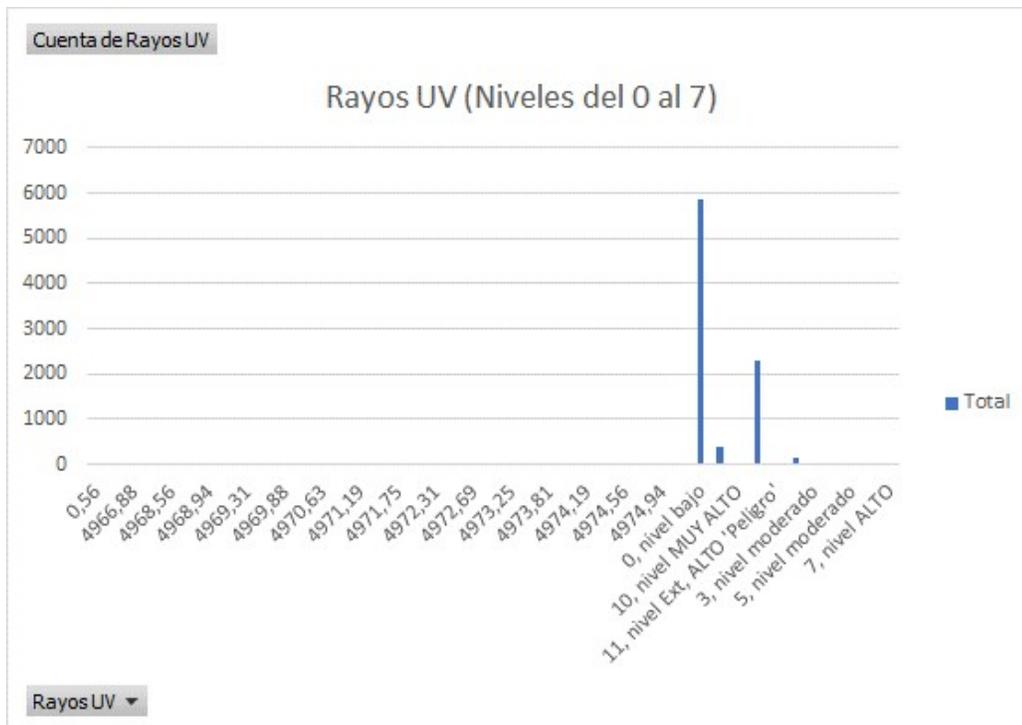


Figura 5.6 Datos del Sensor UV

5.6. Análisis de datos de dirección del viento

Los datos obtenidos por el sensor de dirección del viento se muestran en la siguiente imagen, el cual se puede concluir que las marcaciones más obtenidas están en los 180 grados, seguido de los 225 y 90 grados.

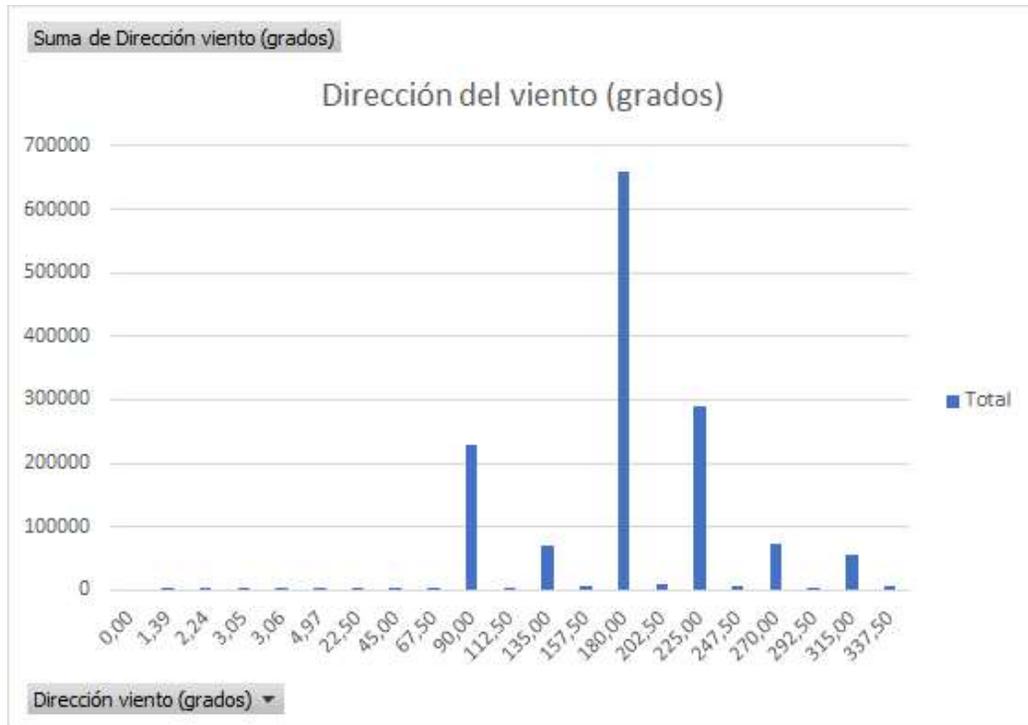


Figura 5.7 Datos de dirección del viento

5.7. Análisis de datos de velocidad del viento

Los datos obtenidos por el sensor de velocidad del viento muestran en su mayoría información de velocidad de 186 m/s, lo que significa que ha habido poco viento donde se ha realizado las muestras del prototipo. Para el caso de las plantaciones de cacao se puede estipular rompe vientos en caso de que estos valores excedan en su promedio.



Figura 5.8 Datos de velocidad del viento

5.8. Análisis de datos de cantidad de lluvia

Se realiza análisis de los datos obtenidos por el sensor cantidad de lluvia, se puede apreciar que hay una cantidad grande de datos en el valor de 840 ppm.

Estas pruebas se las debe realizar controladas para no moja algún sensor o electrónica del prototipo.

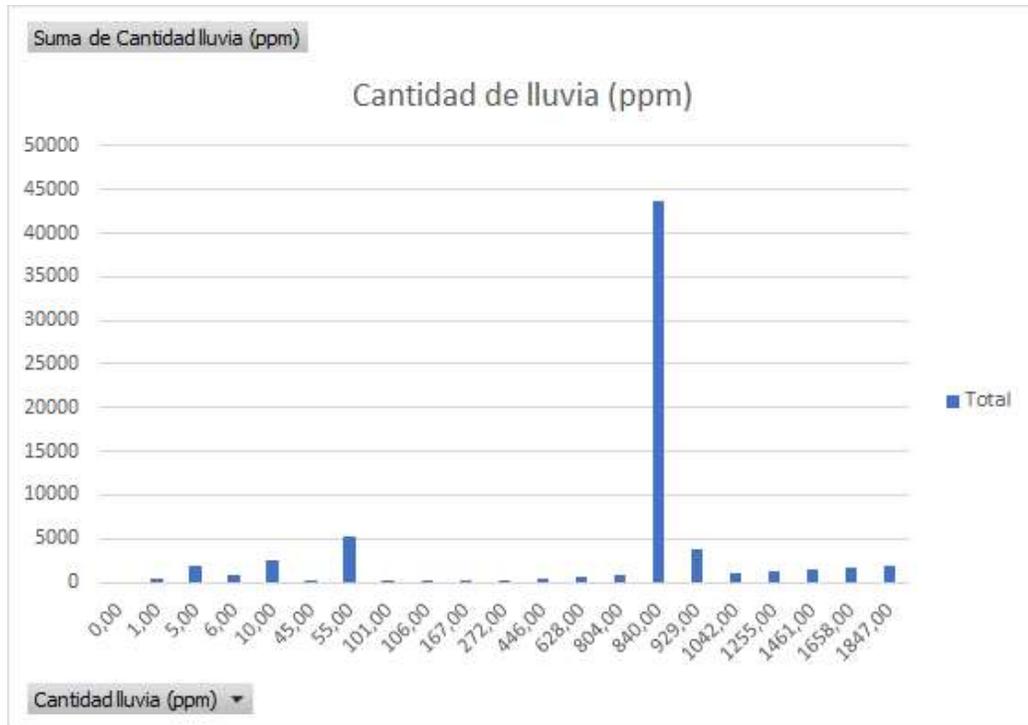


Figura 5.9 Datos de cantidad de lluvia

6. Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo de investigación cumpliendo con los objetivos planteados al inicio de la investigación son las siguientes:

- Se realizó el diseño e implementación un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable para el monitoreo de parámetros ambientales en cultivos de cacao utilizando hardware de bajo costo como Raspberry PI y ESP32 (este elemento reemplaza al arduino sin embargo tiene la misma función dentro del proyecto con un adicional que es un dispositivo WIFI).
- Se realizó el diseño del prototipo de estación meteorológica agrícola mediante hardware libre como ESP32 (reemplaza al arduino) y Raspberry PI.
- Se realizó la implementación de un sistema autosostenible en el prototipo mediante paneles solares, lo cual alimenta todo el prototipo con energía solar.
- Se realizó la estructuración del hardware utilizando tarjetas ESP32 y Raspberry PI para la obtención de los parámetros meteorológicos como temperatura ambiente, humedad ambiente, temperatura de suelo, velocidad del viento, dirección del viento, cantidad de lluvia, cantidad de rayos UV y humedad del suelo. Se realizó el diseño de una PCB en la cual como elementos principales están el ESP32 y el módulo GSM SIM808.
- Se realizó la configuración de una APP para la visualización en un móvil de los parámetros obtenidos por la estación meteorológica agrícola. Esta APP es gratuita desde el Google Play Store, Thingview permite configurar el canal de ThinkSpeak y visualizar la data en tiempo real desde el móvil.
- Se realizó la configuración de un enlace inalámbrico GSM para el envío de datos de los sensores mediante mensajes de alerta SMS y configurar un sistema de monitorización en la nube para la visualización vía web. Se utilizó un chip de CNT para el envío de mensajes de alerta cuando la temperatura o humedad pasen del umbral configurado.

- Para el cumplimiento de los objetivos se realizó diseño de tarjeta PCB, impresión de estructuras de protección para los sensores, armado del prototipo en un pedestal para su fácil movilización, ensamble y configuración de sensores que conectan a la tarjeta PCB, configuración de Raspberry PI, configuración de cuenta en ThingSpeak para la visualización de datos de manera web y mediante APP.
- Todos los elementos ensamblados serán entregados al laboratorio de telecomunicaciones para prácticas con estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones.

7. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones se plantean al finalizar la investigación de este proyecto:

- Para realizar las pruebas en una finca, granja o hacienda se requiere disponer de materiales como cables más largos, caja protectora más robusta, ya que debe soportar excesiva humedad, lluvias, y viento en ambientes agrícolas.
- Como ampliación para futuras investigaciones se puede colocar una pantalla para la Raspberry para visualizar los datos desde el monitor serie del IDE de arduino, o también se puede realizar un desarrollo con bases de datos y servidores de monitorización que almacenen la información para en un futuro poder revisar los datos obtenidos por los sensores directamente desde el prototipo.
- Los sensores meteorológicos se recomiendan instalar en un pedestal diferente donde se sitúa la caja principal, en vista que en una lluvia puede verse afectado la electrónica diseñada. Así como también en una base fija y sujeta al suelo ya que los vientos fuertes pueden afectar la estabilidad del soporte del prototipo meteorológico.
- Como recomendación se debería probar el prototipo por los menos 6 meses con obtención de datos reales cada 5 o 10 minutos en una finca donde se cultive cacao para una correcta data que aporte a la investigación de este tipo de desarrollos tecnológicos.
- Otro proyecto de investigación podría darse al fortalecer este trabajo de investigación si se ampliara con más sensores, alertas vía mail, llamadas telefónicas, etc.
- Como recomendación final se debe realizar capacitación al operador de la estación meteorológica para interpretar y descargar la información almacenada en la web para un análisis de datos y soluciones en caso de haberlas.

Referencias bibliográficas

- "Betancourt Figueroa, B. O., & "Soria Carrascal, F. D. (23 de 1 de 2020). Diseño e implementación de una interface de control para el apuntamiento de una antena en 5.8 GHZ en elevación y Azimut con posición automática y manual.
- "Zuñiga Murillo, S. (11 de 8 de 2014). Diseño e implementación de un sistema de control para generar diagramas de radiación de antenas utilizando la plataforma PXI.
- Andreotti, J. I. (2015). *¿Qué es el BER (Bit Error Rate)?* Buenos Aires - Argentina: Magna Editores.
- Antonio Ricardo Castro, R. J. (2015). *comunicaciones y redes para profesionales en sistemas de informacion*. Mexico DF: alfaomega.
- Antonio Ricardo Castro, R. J. (2020). *comunicaciones y redes para profesionales en sistemas de informacion*. Mexico DF: alfaomega.
- Arias, F. (2013). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas: Editorial Episteme, C.A.
- Arraño, H., & Azurdia, C. (2015). *OFDM: Hoy y en el futuro de las comunicaciones*. Santiago de Chile: XV Congreso Internacional de Telecomunicaciones SENACITEL.
- Cadena Iñiguez, P. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1603-1617.
- Carlson, A. B., Crilly, P. B., & Rutledge, J. C. (2015). *Communication Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication*. New York: McGraw-Hill Higher Education,.
- Domínguez, A. G. (2012). *calculo de antenas*. Alfaomega.
- EIRL, E. T. (8 de enero de 2017). *Antena Parabolica banda C, Diametro de 2.40 mts*. Obtenido de <http://www.telali.com.pe/antena-parabolica-banda-C-2-40-mts.html>
- El blog de alta definicion HD*. (18 de abril de 2017). Obtenido de <http://altadefinicionbd.blogspot.com/2017/04/movistar-y-el-negro-futuro-de-la-tv-por.html>
- Emilio Monachesi, A. M. (14 de marzo de 2011). *conceptos generales de antenas*. Obtenido de www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/antenas.pdf

- Escobar, R. (2016). *Core concepts of GNU Radio*. Obtenido de <http://stg-pepper.blogspot.com/2016/12/iniciando-con-gnu-radio.html>
- Esteban Masque. (2015). *Antenas León*. Obtenido de <http://www.antenaleon.com/>
- Ettus. (2017). *Ettus Research*. Obtenido de https://www.ettus.com/content/images/B205mini-i_Top-Large_1.jpg
- Facal, T. (2015). *GUía para elaborar un proyecto de investigación social*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Fernández Díaz, J. (2015). *Telecomunicaciones digitales, dispositivos y sistemas*. Nuevo León - México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Forefron.io. (1 de enero de 2013). *la guia absoluta para principiantes de arduino*. Obtenido de <http://forefront.io/a/beginners-guide-to-arduino/>
- Guia usrp 2943. (18 de noviembre de 2016).
- Instrument, N. (28 de agosto de 2016). USRP RIO. <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-538>.
- Instrument, N. (1 de abril de 2020). *National instrument*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/12985/en/>
- Interfaces y perifericos. (30 de octubre de 2013).
- Joel. (17 de junio de 2015). Motores paso a paso.
- JORGE JAMI, I. V. (2012). Implementación de una guía practica de instalación y operación de un sistema de recepción de televisión satelital banda c para 18 satélites que tienen huella en Ecuador. QUITO, ECUADOR. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4964/1/CD-4503.pdf>
- López Cortez, S. (2015). *Análisis matemático del desempeño de OFDM en función del tiempo de guarda en canales con desvanecimiento selectivo en frecuencia*. Sangolquí - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- López, E., Zinemanas, P., & Ramos, M. (2016). *Introducción a los sistemas de comunicación*. Rocha - Uruguay: Centro Universitario Regional Este.
- López, J. C. (1 de 11 de 2017). *contaminacion electromagnetica*. Obtenido de <http://www.gigahertz.es/glosario.html>
- López, V. (2016). *Problemas resueltos de electromagnetismo*. Madrid: Editorial Centro de Estudios Ramon Areces S.A.
- Marcano, M. (2018). *Investigación experimental*. Maracaibo - Venezuela: Universidad Fermín Toro.
- Mario. (13 de febrero de 2013). *Neoteo*. Obtenido de

<https://www.neoteo.com/electronica-basica-coaxiales/>

- Martínez, E., & Arturo, S. (2012). *Fundamentos de Telecomunicaciones y Redes Convergente*.
- Masero, V. (2015). *Principios de OFDM*. Sevilla - España: Revista de Universidad de Sevilla.
- Muñoz, J. T. (2018). *Comunicaciones digitales 2*. Málaga - España: Editorial RIUMA.
- Patiño, A. C. (10 de mayo de 2007). sistemas de comunicaciones Constantino Perez. 343.
- Prieto Del Amo, C. (2015). *Estimación de canal y desplazamiento de frecuencia en sistemas MIMO-OFDM con prefijo cíclico insuficiente*. Madrid - España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Profesional, t. (8 de mayo de 2015). *Blog tdt profesional*. Obtenido de (<https://www.tdtprofesional.com/blog/lnb-satelites-tipos-y-funcionamiento/>)
- Profesional, t. (8 de mayo de 2020). *Blog tdt profesional*. Obtenido de (<https://www.tdtprofesional.com/blog/lnb-satelites-tipos-y-funcionamiento/>)
- Quesada, P. (2016). *Desarrollo de un sistema de transmisión (emisor-receptor) con módulos bluetooth*. Madrid - España: Universidad Politécnica de Madrid.
- quiminet. (24 de abril de 2006). *quiminet.com*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/que-son-los-interruptores-finales-de-carrera-7838.htm>
- Ramírez, D. h. (18 de marzo de 2014). *slide share*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/juandanielhernandezramirez1/tarjeta-de-adquisicin-de-datos>
- Ramírez, D. H. (18 de marzo de 2014). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/juandanielhernandezramirez1/tarjeta-de-adquisicin-de-datos>
- Rodríguez, E. (2013). *Metodología de la Investigación*. Villahermosa: Universidad de Juárez Autónoma de Tabasco.
- Rojas, M. (17 de agosto de 2013). *procedimiento de diseño de antenas*. Obtenido de <http://disenoantenas.blogspot.com/>
- Shiloh, M. B. (2016). *Introducción a Arduino*. [sites.google.com/](https://sites.google.com/site/desarrollosticaura/proyecto-de-ict/stdp-y-tba/4-fibra-optica). (s.f.). <https://sites.google.com/site/desarrollosticaura/proyecto-de-ict/stdp-y-tba/4-fibra-optica>.
- Suárez, A. (2015). *Sistemas de comunicación digital*. Nuevo León - México:

Universidad Autónoma Nuevo León.

- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electronicas*. Mexico: prentice hall.
- triana, i. (2 de agosto de 2016). *ingenio triana*. Obtenido de <http://ingenio-triana.blogspot.com/2016/08/control-de-motores-con-arduino.html>
- Universia Costa Rica. (04 de septiembre de 2017). *Tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa*. Obtenido de Universia Costa Rica: <http://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html>
- Uruchima Portilla, A. A. (2016). *Análisis del desempeño de sistemas OFDM con diferentes modulaciones usando Simulink*. Guayaquil - Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Valdeorras, R. (7 de mayo de 2014). *puntitos en el cielo*. Obtenido de <http://puntitosenelcielo.blogspot.com/2014/05/satelites-artificiales-orbitas.html>
- Vazquez Gallardo, S. (2015). Elementos de sistemas de telecomunicaciones.
- Vazquez, S. G. (2015). elementos de sistemas de comunicaciones. 103-105,106. madrid,ESPAÑA: paraninfo.
- Villa, Y. G. (s.f.). *www.academia.edu*. Obtenido de https://www.academia.edu/22156303/Tarjeta_de_adquisici%C3%B3n_de_datos_DAQ
- Villalpando, J. A. (19 de octubre de 2015). *Antenas*. Obtenido de <http://www.iesromerovargas.es/recursos/elec/sol/est-antenas.htm>
- Viveros, J. (2015). *Principios de comunicaciones digitales*. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Voltimum. (13 de julio de 2010). *voltimum*. Obtenido de <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/cable-coaxial>