

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

*Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Electrónico*

PROYECTO TÉCNICO ENFOQUE SOCIAL
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO
DE MONITOREO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA
PLANTACIONES DE MAÍZ

AUTORES:

JAIME GUSTAVO HUILCA SALCEDO

PAUL FERNANDO SICHQUI VELECELA

TUTORA:

DRA. MONICA HUERTA, PhD

CUENCA - ECUADOR

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Jaime Gustavo Huilca Salcedo con documento de identificación N° 0105859284 y Paul Fernando Sichiqli Velecela con documento de identificación N° 0104780598, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO DE MONITOREO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA PLANTACIONES DE MAÍZ**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Electrónico*, 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.

Cuenca, mayo del 2019



Jaime Gustavo Huilca Salcedo

CI: 0105859284



Paul Fernando Sichiqli Velecela

CI: 0104780598

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO DE MONITOREO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA PLANTACIONES DE MAÍZ**, realizado por Jaime Gustavo Huilca Salcedo y Paul Fernando Sichi qui Veleccla, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque social* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2019



Mónica Karel Huerta PhD.
CI: 0151450426

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Jaime Gustavo Huilca Salcedo con número de cédula 0105859284 y Paul Fernando Sichiqli Velecela con número de cédula 0104780598, autores del trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO DE MONITOREO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA PLANTACIONES DE MAÍZ**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque social* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría

Cuenca, mayo del 2019



Jaime Gustavo Huilca Salcedo

CI: 0105859284



Paul Fernando Sichiqli Velecela

CI: 0104780598

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Mi agradecimiento a la directora de tesis Dra. Mónica Huerta, por su colaboración y orientación en la realización del presente trabajo de investigación, ya que supo guiarme de la mejor manera. De igual manera mis agradecimientos a todos los que conforman el grupo de investigación GITEL por su acertado asesoramiento en el desarrollo del presente trabajo de investigación. A mis familiares David Huilca Salcedo, Jhonny Huilca Salcedo, Patricio Huilca Salcedo, José González León ya que gracias a su apoyo se pudo concluir esta meta.

Jaime Gustavo Huilca Salcedo.

Primeramente, doy gracias a Dios por darme fuerzas en los momentos más difíciles y por bendecirme cada día. A mis padres por ser mi pilar fundamental por siempre creer en mí y apoyarme en todo momento.

Agradezco a mi directora de tesis Mónica Huerta, que con sus consejos y correcciones hoy se pudo culminar este trabajo de titulación, y a toda mi familia por su apoyo moral.

Paul Fernando Sichiqli Velecela

DEDICATORIAS

El presente trabajo dedico a Dios que ha cumplido sus promesas, ha sido quien ha sustentado todas mis necesidades, además por su infinita bondad y amor.

A mi madre Sonia Elizabeth Huilca por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a usted he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mi esposa e hija por su incondicional amor, confianza y por sobre todo la paciencia durante todo este proceso.

A mi hermana Daniela Alejandra Guamán por su apoyo incondicional.

Jaime Gustavo Salcedo Huilca.

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme haber llegado a esta etapa importante de mi vida. A mis padres Tito y Luz a mis hermanos Freddy y Kevin por estar dándome su apoyo y por ser mi pilar fundamental, por estar en las buenas y malas, brindarme su amor y consejos. A mis abuelitos que siempre me brindaron su cariño y me inculcaron sus valores. A mi tío Manuel Isidro que siempre me apoyo en todo momento y que desde el cielo me cuida y me guía en cada etapa de mi vida.

Paul Fernando Sichiqli Velecela

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO.....	XIV
JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES).....	XVI
OBJETIVOS.....	XVII
OBJETIVO GENERAL.....	XVII
OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	XVII
Capítulo 1 : Fundamentación Teórica o Estado del Arte.....	1
1.1. Generalidades de la Planta de maíz.....	1
1.1.1. Constitución de una Planta de Maíz.....	2
1.1.2. Ciclo Vegetativo.....	4
1.2. Variables climáticas que afectan la producción del maíz.....	5
1.2.1. Requerimientos del Cultivo.....	6
1.2.1.1 Suelo.....	7
1.2.1.2 Preparación del suelo.....	7
1.2.1.3 Siembra.....	7
1.2.1.4 Fertilización y Control de Plagas.....	7
1.2.2. Enfermedades de la Planta de maíz.....	8
1.2.2.1 Mancha Café (Peca).....	8
1.2.2.2 Roya Tropical.....	8
1.2.2.3 Complejo Mancha de Asfalto.....	9
1.3. Redes de Sensores Aplicadas en la Agricultura.....	10
1.3.1. Proyectos aplicados en la agricultura.....	10
1.3.2. Protocolo Zigbee.....	12
1.3.2.1. Dispositivos De Una Red ZigBee.....	13
Nodo Coordinador.....	13

Nodo Router	14
Dispositivo Final	14
1.3.2.2. Dispositivo Según Su Funcionalidad	14
1.3.2.3. Tipos De Topología.....	15
Topología Estrella.....	15
Topología En Árbol.....	16
Topología Mesh.....	16
1.4. Dispositivos Utilizados en el Diseño del Sistema de Monitoreo.....	17
1.4.1. Arduino Uno	17
1.4.2. Raspberry Pi.....	18
1.4.3. Módulo XBee.....	19
1.4.4. Sensores	20
1.4.5. Sistema de Energía Fotovoltaica.....	22
1.4.5.1. Panel Solar	22
1.4.5.2. Regulador de carga.....	23
1.4.5.3. Acumuladores o Baterías.....	23
Capítulo 2 : Marco Metodológico e implementación	24
2.1 Diseño del sistema de monitoreo.....	24
2.1.1 Descripción del sistema de monitoreo	24
2.1.1.1 Nodo Router	25
2.1.1.2 Nodo Coordinador	26
2.1.1.3 Sistema De Alimentación De Los Nodos.....	26
2.1.2 Software de Simulación y Configuración de Dispositivos	31
2.1.2.1 Simulación En Radio Mobile	31
2.1.2.2 Configuración De Los XBee Y Pruebas De Transmisión.....	33
Configuración De Los Dispositivos XBee.....	34
Pruebas Envió De Datos Con Los Dispositivos XBee.....	35
Pruebas Envió De Datos Conectado Al Nodo De Sensores.....	37
2.1.2.3 Programación De Los Microcontroladores	37
2.2 Diseño de la Pagina Web.....	38
2.2.1 Base de Datos.....	38
2.2.2 Lenguaje Y Herramienta Para Diseño De La Interfaz Gráfica.....	40
2.2.3 Interfaz Grafica.....	41
2.3 Implementación del sistema de monitoreo	48
2.3.1 Construcción de los Módulos de la Red	48

Construcción De Los Nodos Router 1 Y 2.	48
Módulo De Recepción (Nodo Coordinador).....	50
2.3.2 Ubicación del Sistema de Monitoreo.....	51
2.3.3 Instalación de los Módulos en el Cultivo de Maíz.....	52
Instalación De Los Paneles Solares	52
Instalación De Los Módulos De Recepción Y Transmisión.....	53
2.3.4 Puesta en Marcha del Sistema de Monitoreo.....	55
Sitio Web Del Proyecto Plátano-Maíz	55
Capítulo 3 : Análisis de Resultados	57
3.1 Perfil de Enlace	57
3.2 Mediciones de enlace de transmisión dentro de la plantación de maíz.....	58
3.3 Mediciones de las variables climáticas del maíz.....	59
3.3.1 Medición de la Humedad del Ambiente.	60
3.3.2 Medición de la Humedad del Suelo.....	66
3.3.3 Medición de la Luminosidad	70
3.3.4 Medición de Radiación Solar.....	73
3.3.5 Medición de la temperatura de Ambiente.....	79
3.3.6 Temperatura del Suelo	84
CAPÍTULO 4 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
4.1 CONCLUSIONES.....	91
4.2 RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
APÉNDICES.....	100
APÉNDICE A: CÓDIGO DE PYTHON	100
APÉNDICE B: CÓDIGO DE ARDUINO NODO 1	101
APÉNDICE C: Resultados obtenidos del mes de marzo por el nodo router 2:	105

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Estructura de una planta de maíz [30]</i>	2
<i>Figura 1.2. Flores de la planta de maíz [29]</i>	4
<i>Figura 1.3. Ciclo vegetativo de la planta de maíz [28].</i>	5
<i>Figura 1.4. Mancha café en la planta de maíz [34].</i>	8
<i>Figura 1.5. Royal Tropical en la planta de maíz [34].</i>	9
<i>Figura 1.6. Complejo de mancha de asfalto en la planta de maíz [38].</i>	9
<i>Figura 1.7. Dispositivos de una red Zigbee [56].</i>	13
<i>Figura 1.8. Dispositivos según su funcionalidad [57].</i>	15
<i>Figura 1.9. Topología en estrella.</i>	16
<i>Figura 1.10. Topología en árbol.</i>	16
<i>Figura 1.11. Topología Mesh</i>	17
<i>Figura 1.12. Arduino Uno [59]</i>	17
<i>Figura 1.13. Raspberry Pi [60]</i>	18
<i>Figura 1.14. Dispositivo XBee [61]</i>	19
<i>Figura 1.15. Módulo de Sensor de Temperatura y Humedad [63]</i>	20
<i>Figura 1.16. Módulo de Sensor de Radiación Solar [64].</i>	21
<i>Figura 1.17. Módulo de Sensor de Humedad del Suelo [65]</i>	21
<i>Figura 1.18. Módulo de Temperatura del Suelo [66].</i>	22
<i>Figura 1.19. Panel Solar</i>	22
<i>Figura 1.20. Regulador de Carga</i>	23
<i>Figura 1.21. Batería Xiaomi de 10400Ah [60].</i>	23
<i>Figura 2.1. Esquema del sistema de Monitoreo</i>	25
<i>Figura 2.2. Esquema del Nodo Router</i>	26
<i>Figura 2.3. Estación de Monitoreo</i>	26
<i>Figura 2.4. Sistema de alimentación para los nodos routers</i>	27
<i>Figura 2.5. Ubicación de los nodos en el Sector de Guápan.</i>	32
<i>Figura 2.6. Detalles de la configuración del enlace de Radio a. Frecuencia de trabajo b. Parámetros del equipo de transmisión</i>	33
<i>Figura 2.7. Configuración del nodo Coordinador</i>	34
<i>Figura 2.8. Configuración del nodo Router</i>	35
<i>Figura 2.9. Prueba de envío de mensaje desde el XBee Router</i>	36
<i>Figura 2.10. Prueba de recepción del mensaje en el XBee Coordinador.</i>	36

<i>Figura 2.11. Pruebas de adquisición, envío y recepción de datos obtenidos por los sensores en el nodo.</i>	37
<i>Figura 2.12. Programación de los microcontroladores</i>	38
<i>Figura 2.13. Adquisición de los datos de los sensores</i>	39
<i>Figura 2.14. Envío de datos a MYSQL.</i>	40
<i>Figura 2.15. Base de Datos MYSQL</i>	40
<i>Figura 2.16. Lenguaje de Programación PHP</i>	41
<i>Figura 2.17. Interfaz Gráfica menú-Inicio</i>	42
<i>Figura 2.18. Opción para visualizar Datos de variables climáticas por a. día, b. semana, c. mes y d. año.</i>	43
<i>Figura 2.19. Grafica de la Humedad del Ambiente a. Día, b. Semana, c. Mes y d. Año.</i>	45
<i>Figura 2.20. Opción de Misión/ Visión y Contacto/ Ubicación</i>	46
<i>Figura 2.21. Base de Datos del proyecto</i>	46
<i>Figura 2.22. Proceso para descargar la App.</i>	47
<i>Figura 2.23. Crear una cuenta de administrador.</i>	47
<i>Figura 2.24. Notificación de correo electrónico.</i>	48
<i>Figura 2.25. Modelos de los módulos diseñado del nodo router.</i>	49
<i>Figura 2.26. Modelo 2 del Módulo del Nodo Router 1 y 2</i>	50
<i>Figura 2.27. Módulo de estación de recepción de datos.</i>	51
<i>Figura 2.28. Ubicación del Terreno</i>	52
<i>Figura 2.29. Ubicación del Panel Solar</i>	52
<i>Figura 2.30. Ubicación e instalación del Nodo Router 1</i>	53
<i>Figura 2.31. Ubicación e instalación del Nodo Router 2</i>	54
<i>Figura 2.32. Ubicación de la estación de monitoreo</i>	54
<i>Figura 2.33. Programa de Python de lectura y envío de Datos al servidor</i>	55
<i>Figura 2.34. Publicación en Internet de Pagina Web</i>	56
<i>Figura 3.1. Enlace de Radio</i>	57
<i>Figura 3.2. Perfil de Radio Enlace</i>	58
<i>Figura 3.3. Pruebas de Transmisión en Range Test</i>	58
<i>Figura 3.4. Resultado de la Humedad del ambiente en un día: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.</i>	61
<i>Figura 3.5. Resultado de la Humedad del ambiente en una semana: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados</i>	63

Figura 3.6. Resultado de la Humedad del ambiente en un Mes: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.	65
Figura 3.7. Medición de la Humedad del Ambiente del año 2019.	65
Figura 3.8. Medición de la Humedad del Suelo en un día: a. máximos registrados, b. mínimos registrados y promedio	67
Figura 3.9. Medición de la Humedad del Suelo en una Semana a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.	68
Figura 3.10. Medición de la Humedad del Suelo en el Mes: a. máximos registrados b. promedio y c. mínimos registrados.	70
Figura 3.11. Medición de la Luminosidad en un día: a. máximos registrados, b. promedio registrados y c. mínimos registrados.	72
Figura 3.12. Medición de la Luminosidad de un Mes: a. Máximo registrado, b. Promedio y c. Mínimos Registrados	73
Figura 3.13. Medición de Irradiación de un día: a. máxima registros, b. promedio y c. mínimos registros.	75
Figura 3.14. Medición de Irradiación en un Mes: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.	77
Figura 3.15. Medición de Irradiación en un Mes: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.	79
Figura 3.16. Medición de la Temperatura Ambiente en el día: a. máximos registrados, b. promedio y mínimos registrados.	81
Figura 3.17. Medición de la Temperatura Ambiente de una semana: a. máximos registrados, b. promedio y mínimos registrados.	82
Figura 3.18. Medición de la Temperatura del Ambiente de un ms a. máximos registrados, b. promedio y mínimos registrados.	84
Figura 3.19. Medición de la Temperatura del Suelo de un día: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.	86
Figura 3.20. Medición de la Temperatura del Suelo de una semana: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.	88
Figura 3.21. Medición de la Temperatura del Suelo de un mes: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.	90
Figura A.1. Humedad del Ambiente del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos	106

<i>Figura A.2. Humedad del Suelo del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos</i>	107
<i>Figura A.3. Luminosidad del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos.</i>	109
<i>Figura A.4. Radiación del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos..</i>	110
<i>Figura A.5. Temperatura del ambiente del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos</i>	112
<i>Figura A.6 Temperatura del Suelo del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos</i>	113

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1-1 Requerimientos del Cultivo de maíz</i>	6
<i>Tabla 1-2 Características del Arduino Uno</i>	18
<i>Tabla 1-3 Características de la Raspberry Pi 3 B+</i>	18
<i>Tabla 1-4 Característica del Módulo XBee S2C</i>	19
<i>Tabla 2-1 Consumo energético del nodo Router</i>	28
<i>Tabla 2-2 Ubicación de los Nodos</i>	32
<i>Tabla 2-3 Parámetros configurados en los XBee S2C</i>	35
<i>Tabla 3-1 Mediciones de Enlace de Transmisión</i>	59

RESUMEN

Dentro de las diferentes actividades que dan lugar al desarrollo económico y social de las poblaciones a nivel mundial, la agricultura corresponde a una de las más fundamentales, ya que de esta depende la alimentación de millones de personas. En Latinoamérica y Ecuador uno de los cultivos de mayor importancia es el maíz, ya que está ligado a la cultura e identidad de los pueblos indígenas. El maíz es una de las plantaciones más importantes ya que brinda elementos nutritivos para la alimentación del ser humano y animales. Uno de los problemas que deben enfrentar los agricultores son las implicaciones que están directamente vinculadas al clima, ya que los cultivos del maíz se ven afectados por las variaciones de temperatura y precipitación, provocando una disminución en el rendimiento de los cultivos y ocasionando pérdidas a los agricultores. Por lo antes expuesto en este proyecto se propone diseñar e implementar un sistema de monitoreo de las variables climáticas que afectan al cultivo de maíz como son: temperatura del ambiente, humedad del ambiente, luminosidad, radiación, humedad y temperatura del suelo. El sistema propuesto consta de una red de sensores la cual se va a encargar de adquirir los datos de las condiciones agroecológicas del cultivo de maíz, una interfaz web de fácil uso que sirve para el manejo de la información almacenada y un sistema de energía renovable fotovoltaica. Los resultados indican que este sistema es una herramienta de apoyo que permite a los agricultores a la toma decisiones para mejorar el desarrollo y producción de los cultivos, así como, llevar a cabo acciones que eviten, o minimicen, enfermedades y plagas en los cultivos.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad la agricultura ha sido parte fundamental en la sociedad la cual se trata del cultivo de la tierra para obtener vegetales y frutos para la alimentación de los seres humanos. En el transcurso de los años la agricultura se convirtió en un eje importante de crecimiento económico de los países, ya que genera materias primas utilizadas en las industrias [1]. En Ecuador uno de los cultivos de mayor importancia es el maíz, ya que está ligado a la cultura e identidad de los pueblos indígenas. Adicionalmente, el maíz es uno de los productos agrícola más producido y consumido en Latinoamérica y se exporta ayudando a la economía del país.

El maíz tiene muchas variedades, sin embargo, hay dos tipos donde se centra el mayor consumo, el primero es el maíz suave el cual es utilizado para el consumo, y segundo es el maíz duro el cual es utilizado para las industrias avícola, en la fabricación de bebidas y biocombustibles. En Ecuador, la planta de maíz es sembrada en diferentes ecosistemas desde zonas de la costa a las zonas de la sierra, por lo cual para generar una buena producción es necesario tener conocimientos sobre las condiciones de los suelos y las condiciones climáticas de la zona [2][3].

En la actualidad existen variaciones climáticas que son ocasionadas por el efecto del calentamiento global, lo que ocasiona alteraciones en los ecosistemas y los recursos naturales, que afecta directamente a la agricultura provocando una reducción del rendimiento de los cultivos, la aparición de plagas y enfermedades. Las alteraciones de los ecosistemas traen como consecuencias la falta de suficientes nutrientes en el suelo, por lo tanto, pérdida de la capacidad productiva de los cultivos [4] [5].

En el caso del maíz la producción se podría reducir como consecuencias de los cambios climáticos, principalmente el incremento de temperatura y la disminución de las precipitaciones lo cual puede detener el crecimiento de la planta por la alteración de la fotosíntesis y obtención de los nutrientes [6][7].

En la provincia del Cañar-Azogues, en el sector de Guápan, la producción del maíz se ha visto afectada por plagas y enfermedades en los cultivos, ya se ha demostrado que están ocasionadas por las diferentes variaciones climáticas, lo que provoca una disminución de la calidad del producto y pérdidas económicas que perjudica a los agricultores [8].

Dada a las variaciones climáticas en el sector agrícola se está implementado distintas tecnologías que ayude al agricultor ayude a tomar previsiones, dentro de estas tecnologías se encuentran las redes de sensores inalámbricos (WSN, *del inglés Wireless Sensor Networks*) dentro de las cuales se encuentran las redes inalámbricas de área personal (WPAN) las cuales son redes de corta distancia y maneja tecnologías como Bluetooth y ZigBee. Las WSN están conformadas por dispositivos inteligentes o conocidos como nodos los cuales tienen poca capacidad de procesamiento y tienen un bajo consumo de energía lo que permite que sean alimentados por baterías o paneles solares. Estos dispositivos permiten monitorear las condiciones climáticas de los cultivos con el fin de poder optimizar recursos y tener una mejor producción [9][10][11].

En este trabajo describe el diseño y la implementación de una red de sensores utilizando el protocolo comunicación ZigBee basado en el estándar 802.15.4, esta tecnología es usada por los dispositivos inteligentes XBee los cuales pueden monitorear las variables climáticas que afectan al cultivo de maíz como humedad, temperatura y radiación solar. Los datos adquiridos de los sensores serán enviados a través del nodo sensor el cual se asocia con el nodo coordinador, este se encarga de recibir la información para ser almacenada en gestor de Base de Datos MYSQL. Esta información se visualiza en una interfaz gráfica para observar el comportamiento de las variables climáticas del cultivo de maíz lo cual permite ayudar a los agricultores del sector de Guápan a tomar decisiones para aumentar la calidad del cultivo y tomar previsiones de plagas, enfermedades y malezas.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

Dentro de las diferentes actividades que dan lugar al desarrollo económico y social de las poblaciones a nivel mundial, la agricultura corresponde a una de las más fundamentales, ya que de esta depende la alimentación de millones de personas. Entre los principales productos que dan lugar a una correcta nutrición [12] [13], el cultivo de maíz destaca como base de una dieta equilibrada. El maíz está catalogado como uno de los cereales de mayor importancia para el consumo humano, debido a que suministra elementos nutritivos. A su vez, este vegetal en sus diversas fases de desarrollo es altamente utilizado para alimentar ganado, en su mayoría al de clasificación vacuna o bovina [14].

El maíz, en América Latina pese a ser un componente fundamental para la alimentación saludable, en los últimos años, su producción se ha visto afectada por la degradación y erosión de la tierra, la introducción de especies de baja producción, al mal uso de nuevas especies híbridas de gran potencial de rendimiento, ataques de plagas y enfermedades, cambios climáticos que perjudican de sobremanera en los periodos más vulnerables del cultivo. Sin embargo, se ha demostrado que se pueden incrementar apreciablemente con el uso de adecuada tecnología que incluyen, un mejor manejo de los cultivos y el rendimiento de estos [15].

Ecuador debido a su localización y características geográficas y meteorológicas presenta las condiciones propicias para el desarrollo de diversos cultivos. Dentro de sus cuatro regiones, las dos de mayor producción corresponden a la Costa y Sierra, siendo esta última en donde se produce la mayoría del maíz [16].

De las diferentes localidades pertenecientes a la Sierra ecuatoriana, la provincia del Azuay históricamente se ha dedicado al cultivo de maíz, actividad económica, cultural y ancestral. Sin embargo, en los últimos años, en este territorio y a nivel global, el cambio en el comportamiento climático y su influencia en la agricultura han sido tratados con mayor énfasis. Por ende, se han determinado medidas ante los diversos desafíos resultantes del cambio climático que afectan directamente al nivel de producción agrícola [17].

Por ello se deben evaluar otras formas de distribución de los cultivos en una plantación de maíz como los surcos apareados o doble fila más conocidos como twin-rows (técnica de las filas paralelas), un concepto que está ganando interés. El principio básico de este sistema es proporcionar un mayor espacio entre plantas, permitiendo así una mayor población a través de siembras a doble hilera que permiten tener mayor

cantidad de mazorca y consecuentemente lo que permite alcanzar mejores rendimientos [15].

JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)

El maíz es uno de los cultivos alimentarios más importantes en el mundo especialmente en Latinoamérica, el cual brinda elementos nutritivos para la alimentación del ser humano y animal, se usa ampliamente en productos industriales [18]. En la provincia del Cañar, ciudad de Azogues la parroquia de Guápan los pobladores de esta comunidad se dedican a actividades agrícolas, siendo la principal el cultivo de maíz [19], en donde las variaciones climáticas como los cambios de temperatura y humedad han ocasionado que no exista el correcto desarrollo de la planta por lo cual disminuye la calidad y producción [20], esto ocasiona que exista pérdidas en la parte alimenticia y económica en los agricultores del sector.

La importancia de los cultivos maíz y los beneficios que brinda a la comunidad de Guápan, nos lleva a realizar una investigación donde pretende realizar el diseño e implementación de un sistema de red de sensores que nos permita mejorar el desarrollo y producción de las plantaciones de maíz y evitar las plagas y enfermedades, con estas nuevas tecnologías.

Los beneficiarios de este proyecto será la comunidad de pequeños agricultores de la ciudad Azogues y el Grupo de Investigación GITEL de la Universidad Politécnica Salesiana, ya que está enfocada en la parte de la agricultura para mejorar la calidad de los productos, este sistema puede ser implementado en cualquier lugar donde existe sembríos que necesiten medir las variables climáticas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e Implementar un sistema embebido de monitoreo de las variables climáticas para las plantaciones de maíz

OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Identificar las variables climáticas que afectan al desarrollo de una planta de maíz.
- Identificar las tecnologías inalámbricas y los protocolos que se utilizan para la adquisición, monitoreo y envío de datos.
- Diseñar el sistema de adquisición, monitoreo y simulación, para la obtención de las condiciones agroecológicas del cultivo que afectan al maíz.
- Desarrollar una interfaz en un dispositivo inalámbrico que permita visualizar las condiciones agroecológicas.
- Validar mediante pruebas, en laboratorio y campo, el funcionamiento del sistema de monitoreo.

CAPÍTULO 1 : FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos, en los cuales se basó el desarrollo de este trabajo, tales como los asociados con las generalidades del maíz, las variables que afectan el buen desarrollo de este cultivo, la aplicación de las redes de sensores en la agricultura, protocolo ZigBee, la visualización y transmisión de datos.

1.1. Generalidades de la Planta de maíz

El maíz también conocido como (*Zea mays*), es una planta gramínea es decir está estructurada en base a un tallo cilíndrico hueco y se cubre por nudos, cubierto por hojas largas [21]. Es un cereal que tiene una gran importancia para el ser humano, desde hace siglos en las civilizaciones mayas y aztecas tuvo un gran papel en la parte de las creencias religiosas, festividades y principalmente en la alimentación [22]. En el Ecuador el maíz es conocido como la vida en los pueblos indígenas, ya que está relacionado con su cultura e identidad, siembra y cultivo, a través de los años cada generación ha ido cultivando la sabiduría tradicional de la siembra de este grano, y fueron aparecieron distintos tipos de este cereal [23].

En Ecuador esta semilla es cultivada de diferentes ecosistemas, ya que tiene zonas tropicales, paramo y zonas de tipo desierto. Para la producción de este cereal se debe tener un conocimiento sobre las condiciones naturales de los suelos y de las condiciones climáticas que puedan determinar el mejor momento para la siembra del maíz [23]. Existen dos tipos de cultivos de maíz: el maíz duro, este es cultivado por grandes productores su principal uso es en las industrias el cual está destinado a la producción avícola y la agroindustria, y el maíz suave, el cual es cultivado por pequeños productores y está destinado para la alimentación y se produce principalmente en la Sierra [24].

El maíz es una planta que requiere temperaturas entre 25° a 30°C, suministro de agua, y la planta necesita una alta incidencia de radiación solar, ya que la semilla para poder desarrollarse necesita una temperatura de 20° a 32° C [25]. El maíz tiene una alta calidad y desarrollo dependiendo el tipo de suelo y el manejo de los agricultores,

especialmente, en los climas subtropicales, trópicos se obtendrás mejor crecimiento, pero hay que evitar lugares húmedos [25] [26]. En el monocultivo del maíz se siembra a 20cm entre cada planta se colocan de 3 a 4 semillas en cada punto, y va acompañado con la siembra de frijoles o zambos, esto hace que se produzca un alimento nutritivo y hace que exista insectos que se encargan de controlar las plagas y enfermedades en la planta [26].

El maíz tiene un alto valor nutritivo porque aporta mucha energía ya que contiene un 65% carbohidratos, 10% de fibras y un 9% de proteínas, también muchos minerales y sustancias anticancerígenas, al consumirlo contribuye a una buena alimentación por eso existe muchas formas de preparación de comida y bebidas, tiene propiedades medicinales como el pelo de la mazorca el cual sirve para realizar un té para limpiar los riñones e infecciones [26].

1.1.1. Constitución de una Planta de Maíz

La planta de maíz se desarrolla fácilmente y es robusta, esta puede llegar a medir entre 2.70m y -3m. Está estructurada por la raíz, tallo, hojas, flor y el grano, como se observa en la figura 1.1.

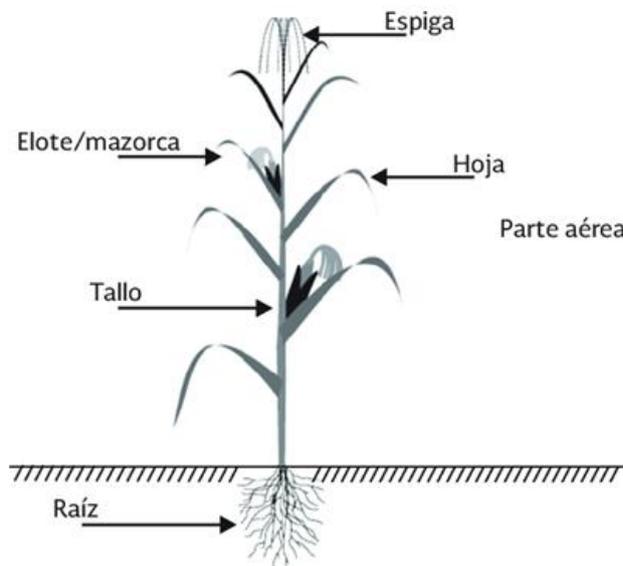


Figura 1.1 Estructura de una planta de maíz [30]

Raíz: es fasciculada o subterránea, la cual se encarga que la planta tenga un correcto agarre, tiene tres tipos de raíces las cuales son [27]:

- Seminales. - Nacen en la semilla después de la radícula para afirmar la planta, estas son temporales.

- Permanentes. - Están incluidas las principales y secundarias, nacen encima de las primeras raicillas en las zonas de la corona, este es el sistema radicular principal.
- Adventicias. - Estas nacen de los nudos de los tallos, son el sostén en las últimas etapas de crecimiento, con las cuales absorbe agua y sustancia nutritivas.

Tallo: es una forma erguida el cual alcanza una longitud de 2m de altura y esta formados por nudos, también conocido como la caña en donde van a estar adheridas las hojas y es importante para la formación de la mazorca esta va a estar ubicada en medio de la planta [28].

Hojas: están formadas por la vaina, cuello y lamina foliar, son alternas, abrazadoras, anchas y ásperas. Su longitud esta entre 45-50 cm de largo y 10 cm de ancho, la planta de maíz puede tener de 12 a 24 hojas [27] [28].

Flor: es monoica es decir tiene dos tipos de flores, las flores femeninas las cuales están ubicadas en la axila de algunas hojas, formado una inflorescencia en espiga rodeada por brácteas largas, a la espiga se llama mazorca y está formada por espiguillas en el caso de fecundación dar un grano [27]. Las flores masculinas están ubicadas en la extremidad del tallo, están agrupadas en panículas, las cuales están formada por 3 a 10 filas de espiguillas emparejadas, y están compuestas por dos glumas y tiene dos flores con tres estambres siendo las dos flores fértiles [27], como se puede observar en la Figura 1.2.

El Grano: dispone en hileras longitudinales estos son abundantes en una mazorca, es aplastado en un plano perpendicular al eje de la mazorca. Este se inserta a la mazorca por el pedúnculo de la flor y posee de 10 a 12 granos, el color también es variado como blanco o amarillo, tiene forma ovoidal y picudo [28].

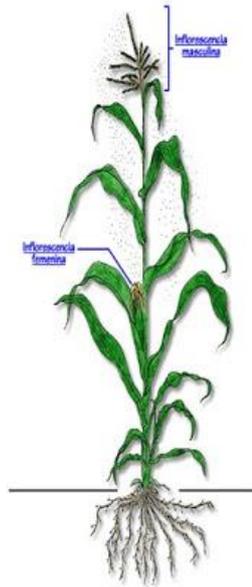


Figura 1.2. Flores de la planta de maíz [29]

1.1.2. Ciclo Vegetativo

El cultivo del maíz tiene un ciclo determinado por diferentes etapas, como se puede observar en la figura 1.3, que son: germinación, crecimiento, Floración, fructificación, maduración y secado.

Germinación.- Esta etapa comprende el tiempo que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, tiene una duración de entre 6-8 días, esta fase es la más importante la cual debe producir en excelentes condiciones de germinación [27] [28].

Crecimiento. - Al nacer el maíz, en este ciclo si existen condiciones normales van a aparecer una hoja cada 3. Entre las 4-5 primeras semanas la planta debe estar conformada por todas sus hojas [27] [28].

Floración. - A los 25 días que se realizó la siembra aparece la flor masculina ubicada en el interior del tallo en la base, de 4-6 semanas inicia la liberación del polen y alargar los estilos. La liberación del polen va desde 5-8 días, aquí puede existir un problema si no existe una temperatura correcta o falta de lluvia [27] [28].

Fructificación. - La fecundación de los óvulos por el polen comienza la etapa de la fluctuación, en donde los estilos de la mazorca conocidos como sedas cambian a un color castaño. Después de la 3 semana de la polinización, la mazorca tiene su tamaño completo, formado de los granos y aparece en ellos el embrión, los granos se

llenar con una sustancia rica en azúcares, las cuales en la quinta semana serán unos almidones [28].

Maduración y Secado. - En la parte final de la octava semana de la polinización el grano de maíz obtiene su máxima materia seca y teniendo el 35% de humedad, por lo cual ha llegado a su madurez fisiológica y como se va reduciendo la humedad se acerca a la fisiología comercial [27] [28].

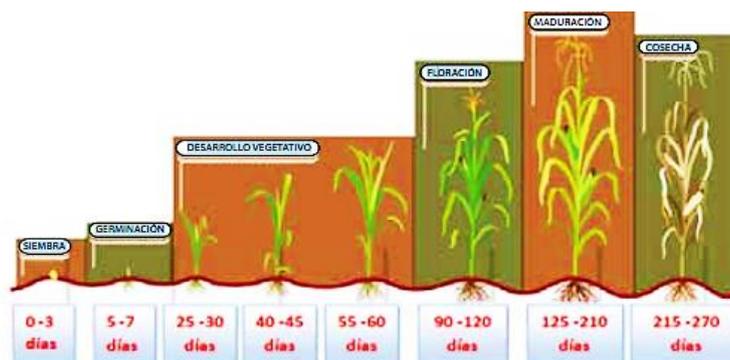


Figura 1.3. Ciclo vegetativo de la planta de maíz [28].

1.2. Variables climáticas que afectan la producción del maíz

El cambio climático en todo el mundo está afectando ampliamente en el campo de la agricultura, ya que las variables climáticas que influyen en el desarrollo del cultivo son las lluvias, temperatura y la radiación solar.

Temperatura: es muy importante ya que afecta directamente en el crecimiento de maíz la cual requiere una temperatura de 25-30°C, y puede soportar temperaturas mínimas hasta 8°C, pero si es mayor a 30° existe problemas para la buena absorción de nutrientes y agua [31], lo cual afecta al desarrollo de la planta de maíz. La temperatura del suelo es fundamental para la germinación de la semilla y para el desarrollo de las raíces.

Radiación Solar: es una de las variables climáticas importantes para el crecimiento correcto y tener una producción de calidad, ya que la planta de maíz necesita bastante incidencia de luz solar para que pueda crecer más rápido y de forma eficiente, pero en las etapas finales no existe mucha captación de radiación solar porque las hojas ocupan mayor espacio lo que ocasiona que se menos eficiente. También necesita grandes cantidades de agua ya que es una consecuencia que provoca

la fotosíntesis, y para que pueda producir 1Kg de granos necesita 1000 litros de agua [32]. La luminosidad debe ser alta en el maíz, y la ideal debe ser captada entre 6-7 horas de la luz al día.

Humedad: cuando existe poca humedad en el suelo provoca que la planta de maíz no germine muy bien, crece poco y no florece bien, ocasionando que los granos sean muy pequeños. Cuando hay exceso de humedad daña los cultivos, esto es ocasionado cuando existe fuertes lluvias por lo cual se acumula el agua en los cultivos provocando falta de oxígeno en la raíz y ocasiona que haya un cambio de color amarillento en las hojas y se reduce el crecimiento de la planta [33].

1.2.1. Requerimientos del Cultivo

El desarrollo de la planta depende de las condiciones ambientales en donde está comprendida la temperatura, humedad y radiación, ya que con sequías y temperaturas elevadas se ocasiona una maduración temprana. La temperatura ideal para la germinación debe ser de entre 20° a 25°C, el cambio del ciclo vegetativo al reproductivo se da más temprano cuando hay días con poca luz, cuando hay días de mucha luz el ciclo reproductivo se atrasa [31]. En la floración se necesita una temperatura entre 21° a 30° C, si hay temperaturas superiores existe una inflorescencia masculina más temprana que la femenina. La planta de maíz necesita mucha agua en las primeras fases que son el crecimiento, floración y fructificación, pero el exceso de agua provoca amarillamiento en la planta y los cambios climáticos como heladas, granizo provocan trastornos fisiológicos [34]. Estos requerimientos del cultivo lo podemos ver en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Requerimientos del Cultivo de maíz

Requerimientos del Cultivo de maíz	
Condiciones	Templado, tropical y subtropical
Humedad Relativa	50 % a 80%
Temperatura Base	10°C
Temperatura Optima	Germinación: 18-20°C Crecimiento: 25-30°C Noche: 17-23°C
Radiación	500 – 600 cal/ cm2/ día
Humedad del suelo	25-60%
Temperatura del suelo	15-20 °C

1.2.1.1 SUELO

Los suelos ideales para el cultivo de maíz deben tener una textura intermedia es decir tenga la capacidad de retener la humedad como sucede en los suelos arcillosos y drenar el agua como pasa en los suelos arenosos, y una buena estructura para que almacene agua y los nutrientes necesarios. En donde las raíces del maíz crecen en una profundidad de 60 cm, por esto el suelo debe estar drenado y airado, porque esta planta es menos tolerante a la difusión de aire en el suelo [27].

El pH del suelo está comprendido entre 5-8, ya que valores menores a 5 dan problemas de toxicidad de aluminio, magnesio y hierro, y si es mayor hay problemas nutricionales por hierro y fosforo, cuando ocurre un mayor daño es por la falta de humedad [27].

1.2.1.2 PREPARACIÓN DEL SUELO

Este es un paso muy importante en donde se realizan aradas y cruzadas, para lograr surcar y que tenga un mejor drenaje el suelo, también va a depender del periodo de lluvias de la zona, al momento que se realiza la arada se hace con una profundidad de 30 a 40 cm y con eso el terrero es capaz de retener agua y con eso se logra que este esponjoso, queda libre de hierbas y llanos [34].

1.2.1.3 SIEMBRA

En este proceso se selecciona las mejores semillas para que sean resistentes a las enfermedades y plagas, la siembra se realiza cuando el suelo tiene una temperatura de 12° C, y se puede realizar de forma manual o con animales de tiro con ayuda de un arado el cual surca el terreno y se ubica de tres a cuatro semillas en cada punto con una separación de 20 a 25 cm con una profundidad de 5cm [34].

1.2.1.4 FERTILIZACIÓN Y CONTROL DE PLAGAS

El maíz es una planta que necesita de suelos con fertilidad natural al momento de cultivar para que se pueda desarrollar de forma correcta, en donde se realiza fertilización mediante el abonado del terreno el cual consiste en utilizar abonos basados en los desechos fecales de los animales para que sea suficiente para la nutrición de las plantas de manera natural y también se puede realizar aplicando fertilizantes comerciales [35] [36].

El control de plagas es muy importante ya que existen muchos insectos que se encuentra en el suelo y se alimentan de la semilla, raíces y los tallos, provocando que la planta no se desarrolle correctamente ocasionando que se pudra [24]. Este control se realiza con herbicidas para poder controlar las plagas, ya que algunos tipos de maíz no son resistentes a los insectos [35].

1.2.2. Enfermedades de la Planta de maíz

Las enfermedades de la planta de maíz son ocasionadas por bacterias y hongos, que provocan daños y el buen desarrollo de los cultivos, es necesario prevenir o controlar un brote antes que produzca daños importantes en la planta. Las principales enfermedades que afectan al maíz son: Mancha Café, Roya Tropical, Complejo de Mancha de Asfalto.

1.2.2.1 MANCHA CAFÉ (PECA)

Esta enfermedad es provocada en áreas donde existe una abundante precipitación pluvial y altas temperaturas, la cual ataca a las hojas, vainas y tallos. Los primeros síntomas de esta enfermedad se pueden observar cuando la plana de la hoja aparece unas pequeñas manchas cloróticas las cuales se encuentran tejidos sanos y enfermos, las manchas en la nervadura central son de forma circular y de un color café, en ocasiones estas infecciones pueden ser severas y ocasionar la pudrición del tallo [37]. Esta enfermedad se puede observar en la figura 1.4.



Figura 1.4. Mancha café en la planta de maíz [34].

1.2.2.2 ROYA TROPICAL

Este hongo aparece en los trópicos cálidos y húmedos, los brotes de esta enfermedad son en forma de pústulas las cuales tiene una forma circular y ovalada, tiene la lesión

de un color amarillo y blanco en donde existe un orificio [34], si el ataque es severo puede ocasionar una caída de la hoja, se observa en la figura 1.5.



Figura 1.5. Royal Tropical en la planta de maíz [34].

1.2.2.3 COMPLEJO MANCHA DE ASFALTO

Esta enfermedad se da en las zonas húmedas de los trópicos, donde produce manchas brillantes y abultadas de un color negro, después se desarrollan áreas necróticas en el tejido las cuales si se une provocan la quemadura completa del follaje, estas lesiones son de forma circular de un diámetro de 5 a 6 cm [38], como se puede observar en la figura 1.6.

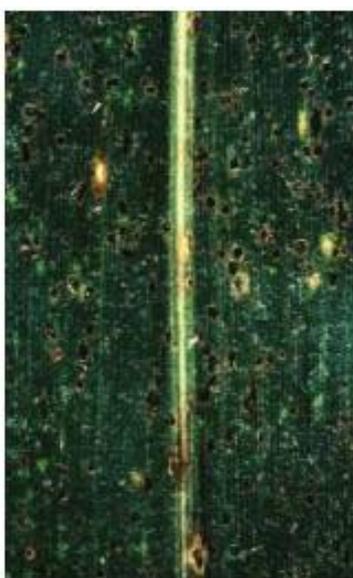


Figura 1.6. Complejo de mancha de asfalto en la planta de maíz [38].

1.3. Redes de Sensores Aplicadas en la Agricultura

Las redes de sensores inalámbricos están formadas por un conjunto de dispositivos conocidos como nodos, se han vuelto muy importantes en diferentes áreas como la industria, domótica y en la agricultura. Los nodos se pueden distribuir en un cultivo en el cual se quiera monitorizar diferentes condiciones, en el caso de la agricultura se monitorea las variables ambientales que influyen en el cultivo. Las redes de sensores están compuestas por nodos router, los cuales se encargan de obtener la información y enviar los datos hacia el nodo coordinador el cual es el encargado de recibir y guardar los datos. Los nodos sensores son alimentados por paneles solar y baterías ya que tienen un bajo consumo. Estas redes de sensores se encuentran ubicadas en lugares en donde quieren optimizar la producción de sus productos.

1.3.1. Proyectos aplicados en la agricultura

Se han analizado proyectos enfocados en las redes de sensores aplicados en la agricultura en diferentes regiones:

En China (2007) se plantea un prototipo de una red de sensores inalámbricos que se aplica en el monitoreo de las variables ambientales dentro de los invernaderos, el cual está conformado por dos partes, la primera es una red en malla que se encarga de la adquisición de los datos de la temperatura, humedad, después envían los datos hacia una PC mediante mensajes cortos, una vez adquirido los datos se envían se implementa una red GSM la cual se encarga de enviar los datos a largas distancias, este prototipo de red proporciona información en tiempo real del monitoreo, demostrando que la comunicación por SMS es una buena solución para enviar datos a largas distancias [39].

En la ciudad de Valencia-España (2017) se implementó una red de sensores móviles de bajo consumo energético en la agricultura Hidropónica, esta técnica de cultivo produce alimentos en agua sin necesidad de hacerlo en la tierra, donde la función de la red de sensores va a ser la adquisición de los datos ambientales para monitorear el estado de las plantas y poder tomar decisiones adecuadas para el buen desarrollo. El nodo Base se encarga de recolectar los datos y envía operaciones a los actuadores, está conectado a internet a través de una red móvil 3G y almacena la información en la Plataforma multimedia PLATEM PA [40].

En México (febrero 2018) se implementó un LPWAN (red de área amplia de bajo consumo) en los invernaderos y está formada por cinco nodos cada uno de estos van a estar conformados por un microcontrolador, sensores de humedad y temperatura, transceptor de radio y estos van estar ubicados en diferentes lugares del invernadero, estos nodos van enviar la información adquirida de forma inalámbrica hacia el Gateway el cual se encargará de transmitir la información hacia el servidor en la nube y mediante una interfaz se puede monitorear los datos adquiridos por los sensores. La LPWAN puede alcanzar conexiones a largas distancias hasta 12.5 Km con línea de vista y están basados en el protocolo LORA la cual transmite poca información a una baja velocidad [41].

Otro proyecto analizado es el sistema difuso de riego aplicado al crecimiento del pimiento habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Bajo condiciones protegidas en Yucatán, México. Los autores analizaron los coeficientes de cultivo, el tipo de suelo, la velocidad del viento, la radiación solar, la temperatura, la humedad relativa y el nivel de lluvia, obtenidos de una estación meteorológica y otros dispositivos de medición para ese fin. Una limitación importante de este estudio es el uso de instrumentos de medición costosos, a los que la mayoría de los agricultores no tienen acceso [42].

En Ecuador se han desarrollado diversos proyectos donde se aplican redes de sensores para monitorear variables agroecológicas como es el caso de la ciudad de Ibarra donde se implementó un sistema de sensores inalámbricos a través del estándar 6LoWPAN el cual permite el uso de IPV6 en las redes basadas en el estándar 802.15.4 lo cual permite que los nodos de la red puedan comunicarse con dispositivos IP y de esta manera se puede monitorear y controlar de manera manual, y de esta forma se puede activar el riego esto va depender de las mediciones que adquieran los sensores, ya que el objetivo principal es la optimización de un sistema de riego ya que en este sector no existe mucha cantidad de agua [43].

Otro caso de estudio son los cultivos de tomate donde se analizaron varias tecnologías inalámbricas para optimizar la producción [44], así mismo, se estudiaron distintos protocolos de comunicación para reducir el consumo energético [45]. Por otro lado, en [46] y [47] se presentan un análisis de aplicación WNS para monitorear y optimizar los cultivos de flores, que es uno de los principales productos de exportación de

Ecuador. Uno de los estudios que han permitido optimizar las variables agroecológicas del café, en el cantón de Santa Isabel, se presenta en [48] donde se verifica como aumenta la producción de este cultivo mediante la implementación de una red de sensores.

En busca de soluciones a los problemas presentados en relación con la agricultura familiar, se propone en [49] una arquitectura de Internet de las cosas (IoT) basada en WSN aplicada a el monitoreo agrícola de los cultivos de cacao en Ecuador, centrado en aumentar la baja productividad mediante el uso de herramientas tecnológicas. Esta propuesta prioriza el bajo costo ya que se utiliza software y hardware de código abierto.

1.3.2. Protocolo Zigbee

El protocolo ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas, está en las redes inalámbricas de área personal (WPAN), este protocolo fue diseñado por la ZigBee Alliance y creado en el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) . Fue diseñado con el objetivo de ser utilizado en aplicaciones que requieran comunicaciones inalámbricas seguras, una baja tasa de envío de datos [50] y para asegurar una integración completa y operativa. En este grupo destacan industrias como Huawei, General Electric y Samsung los cuales trabajan en un sistema de comunicaciones vía radio y que envía y reciba paquetes (bidireccional), que sean utilizados en la parte automatización en la industria y en la parte de agricultura [51].

ZigBee es utilizados en aplicaciones que necesitan requerimientos como baja transmisión de datos y un consumo de energía bajo, ya que la red necesita una pequeña cantidad de energía en cada dispositivo, ya que la mayoría de tiempo los dispositivos pasan en estado latente es decir que se encuentran en modo sleep con el fin de consumir mucho menos energía [50] [51].

El principal objetivo que tiene el estándar de ZigBee es la de formar una topología de red jerárquica para que los dispositivos se puedan comunicar entre ellos, y también posee características importantes de comunicación como son la autenticación, la encriptación de datos y servicios de aplicación en la capa superior [52].].

Este estándar tiene las siguientes especificaciones [53]:

- Tiene velocidades entre 20 kB/s y 250 kB/s.
- Utiliza las bandas ISM (6) de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EE. UU.).
- Una red ZigBee puede conectar hasta 255 nodos, estos van a estar dormidos para consumir menos energía.
- Se configura con topologías como estrella, malla, árbol y punto a punto.
- Escalabilidad de red ya que ofrece flexibilidad, gestión y desempeño en las redes grandes.
- Fragmentación: Nueva capacidad para dividir mensajes más largos y permitir la interacción con otros protocolos y sistemas.
- Las redes pueden cambiar los canales en caso de interferencias.
- Optimiza el tráfico para grandes redes.

1.3.2.1. DISPOSITIVOS DE UNA RED ZIGBEE

Los dispositivos nodos que conforma una red ZigBee son tres el coordinador, router y dispositivo Final, como se puede observar en la figura 1.7.

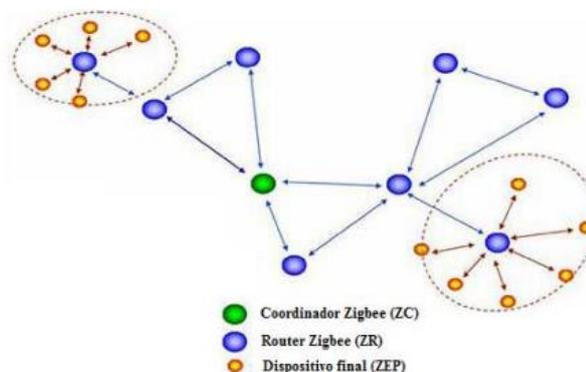


Figura 1.7. Dispositivos de una red Zigbee [56].

NODO COORDINADOR

El coordinador es el que permite que otros dispositivos se unan a la red, basándose en los parámetros de configuración como el tiempo que se agrega un dispositivo o el número máximo de dispositivos que se pueden incorporar a la red. El coordinador tiene que conservar la lista de los dispositivos que están unidos a la red y así facilitar el soporte de dispositivos que no están conectados, y con los cual se vuelven a unir a la red. También, el coordinador debe tener configuraciones que le permitan eliminar dispositivos [54].

NODO ROUTER

Se realiza una copia de los parámetros de configuración de la red, la aplicación del dispositivo utiliza el Channel List y las configuraciones para escanear los canales, esto permite obtener las listas de red con los PAN (*del inglés Personal Area Network*) que están activos, entonces se realizan peticiones de descubrimiento las cuales van a indicar cuales existe realmente en la red y asociar los enlaces en la capa de red. Esto determina comparando las dos listas para seleccionar las PAN que se deben unir. Si la red tiene la seguridad activa, el dispositivo espera al centro de validación para que le proporcione la clave maestra y con esta establecer la clave de enlace, una vez conectado espera a que el centro de validación de pase a la clave de red para así funcionar como un router [54].

En operación normal el router debe permitir que otros elementos se unan a la red, pero teniendo en cuenta la configuración de los parámetros, cuando se incorpore algún dispositivo la aplicación del dispositivo debe ser informada, cuando sea admitido en el PAN el router debe indicar la confirmación de la conexión. El router también permita eliminar la red de dispositivos la cual está asociado bajo su control de aplicación [54].

DISPOSITIVO FINAL

El dispositivo final tiene la característica de comunicarse con el coordinador, este se encarga de acceder a la red para adquirir datos y visualizarlos, pero no puede transmitir información a dispositivos de la red. Estos dispositivos pueden pasar en largo tiempos en forma de sleep, esto hace que pueda tener un bajo consumo de energía [55].

1.3.2.2. DISPOSITIVO SEGÚN SU FUNCIONALIDAD

Según su funcionalidad hay dos tipos de dispositivos Full Function Device (FFD) y Reduced Function Device (RFD) con el fin de reducir el costo del sistema como se observa en la figura 1.8.

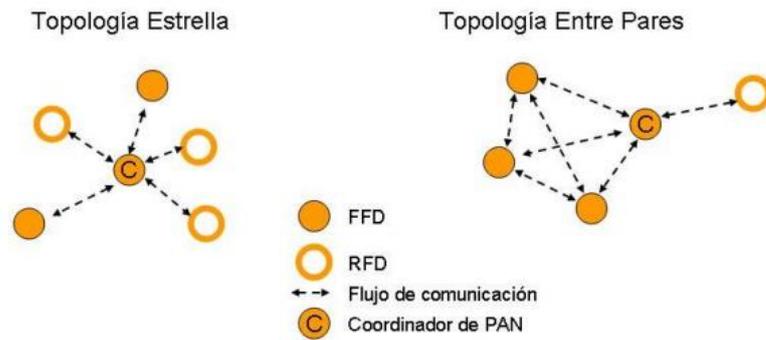


Figura 1.8. Dispositivos según su funcionalidad [57].

a. Full Function Device (FFD)

Estos son dispositivos que pueden funcionar en cualquier topología los cuales pueden ser coordinadores o coordinador de red, este tipo de dispositivos puede conversar, interactuar o asociar a otro grupo de red existente [57].

b. Reduced Function Device (RFD)

Este tipo de dispositivos puede ser miembros solo de una red de topología de tipo estrella, estos solo pueden conversar con el coordinador de red. Estos dispositivos son de menos complejidad con poco requerimiento de memoria y procesamiento [57].

1.3.2.3. TIPOS DE TOPOLOGÍA.

Se maneja tres tipos de topología de red en el protocolo ZigBee, topología estrella, en árbol y mesh.

TOPOLOGÍA ESTRELLA.

Este tipo de red se compone por un FFD el cual funciona como coordinador y varios FFD o RFD los cuales van a estar funcionando como dispositivos finales, estos están conectados directamente con el coordinador, el cual es encargado de iniciar la red y elige un identificador de red, y gestionarla. En este tipo de topología todas las comunicaciones entre dos dispositivos finales se realizan a través del coordinador como se observa en la figura 1.9 [58].

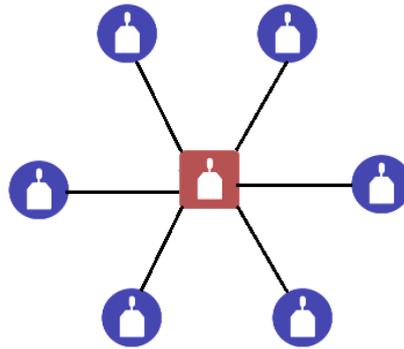


Figura 1.9. Topología en estrella.

TOPOLOGÍA EN ÁRBOL.

Este tipo de topología está conformada por varias subredes en donde el coordinador va a encargarse de formar clúster como se observa en la figura 1.10, esta topología permite que el coordinador pueda ser remplazado por los routers y de acuerdo a su ubicación destino en la topología se enrutará los paquetes. Aquí los dispositivos finales no pueden comunicarse entre ellos [55].

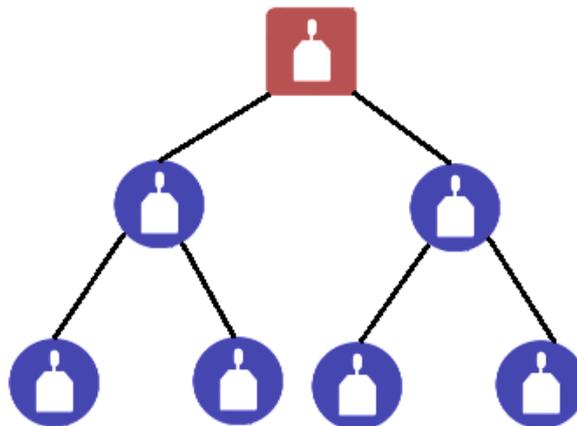


Figura 1.10. Topología en árbol.

TOPOLOGÍA MESH.

En esta topología hay una conectividad con FDD que es el coordinador y con todos los FFDs que forman la red como se observa en la figura 1.11. Los RFDs pueden interactuar en la red y no pueden participar en el enrutamiento, pero existe conectividad solamente con los FDDs. Las ventajas al realizar esta topología son la baja latencia y una alta confiabilidad, pero esto requiere mayor memoria de programa y de datos para poder soportarlo en un dispositivo [58].

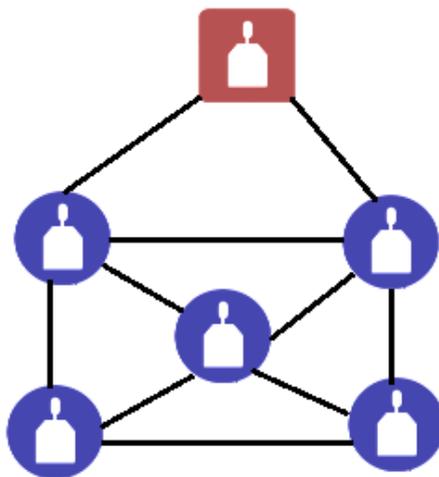


Figura 1.11. Topología Mesh

1.4. Dispositivos Utilizados en el Diseño del Sistema de Monitoreo.

En esta sección se presenta los dispositivos que se utilizaron para el diseño del sistema de monitoreo que son el arduino uno, raspberry pi, modulo XBee, los Sensores que se utilizaron para obtener la información de las variables climáticas y por último el sistema de energía del sistema.

1.4.1. Arduino Uno

Es una placa electrónica con un microcontrolador ATmega328 el cual consta de entradas-salidas digitales y analógicas, con la cual se puede adquirir y procesar las señales. Esta placa electrónica utiliza programación sencilla de código abierto que permite realizar aplicaciones de bajo coste y bajo consumo energético [59]. En la figura 1.12 se observa el arduino uno. En la tabla 1-2 se muestra las características del microcontrolador:

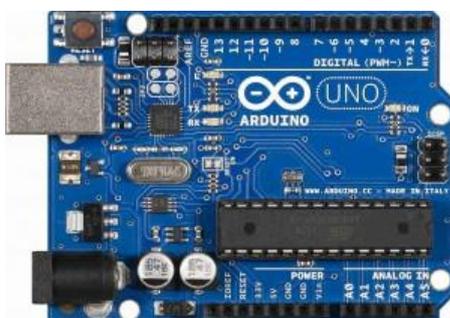


Figura 1.12. Arduino Uno [59]

Tabla 1-2 Características del Arduino Uno

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de funcionamiento	5V
Alimentación	7-12V
Voltaje máximo de entrada	20V
Pines de entrada analógica	6
Pines digitales I/O	14
Corriente DC para el pin 3.3V	50 mA

1.4.2. Raspberry Pi

Es una placa de computadora (SBC) que se asemeja a una mini PC de bajo costo, orienta a la enseñanza de informática que funciona con una distribución del sistema operativo GNU/Linux llamado Raspbian [60]. En la figura 1.13 se observa la raspberry pi 3 B+ y en la tabla 1-3 se muestra las características.



Figura 1.13. Raspberry Pi [60]

Tabla 1-3 Características de la Raspberry Pi 3 B+.

	Raspberry Pi 3 Model B +
SoC	BroadCom ECM2836
CPU	ARM11 ARMv7-900Mhz
GPU	Broadcom Video Core 4 250Mhz

	La potencia máxima del canal 26 es + 3dbm
Sensibilidad del receptor	-102 dBm, modo Boost -100 dBm, modo Normal
Corriente de funcionamiento (transmitir)	45 mA (+8dBm modo Boost) 33 mA (+5dBm modo Normal)
Corriente de funcionamiento (Recepción)	31 mA (modo Boost) 28 mA (modo Normal)
SPI	5 Mbps máximo
FCC ID	MCQ-S2CTH

1.4.4. Sensores

Son dispositivos sensibles a magnitudes físicas o químicas capaces de manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida [62], se fabrica de dos tipos: analógicos y digitales. Entre los más utilizados en proyectos relacionado con medida de variables climáticas se tiene: sensor de temperatura-humedad, radiación solar, humedad y temperatura del suelo.

Módulo de Sensor de Temperatura y Humedad

Se utilizó el módulo DHT22 , este dispositivo detecta la temperatura y humedad del ambiente tiene una buena estabilidad, y puede trabajar en un rango de temperatura desde los -40°C a 80°C con una precisión de 0.5°C y un rango de humedad que va desde 0 a 100% con una precisión de 2% [62] ,se puede observar el sensor DTH22 con la placa de conexión para Arduino en la figura 1.15 [62].

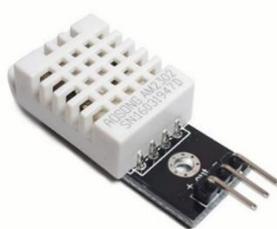


Figura 1.15. Módulo de Sensor de Temperatura y Humedad [63]

Módulo de Sensor de Radiación Solar

El sensor GY-VEML6070 va a ser utilizado para las mediciones de luminosidad y radiación solar, porque tiene un excelente rendimiento de medición de radiación UV, tolerancia al calor, tiene una interfaz de protocolo I2C, voltajes de operación 3-5VDC, convierte la intensidad de la luz UV solar en datos digitales [64], como se puede observar en la figura 1.16.

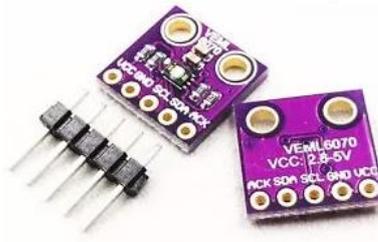


Figura 1.16. Módulo de Sensor de Radiación Solar [64]

Módulo de Sensor de Humedad del Suelo

El sensor higrómetro conocido como FC-28, el cual mide la conductividad del suelo, la conductividad será alta cuando el suelo este húmedo y la conductividad será baja cuando el suelo este seco [58], con una alimentación de 5VDC proporciona valores desde 0 que es la máxima humedad y 1023 que indica que el suelo está seco . En la figura 1.17 se puede observar el sensor de humedad de suelo con la placa de acondicionamiento para Arduino.

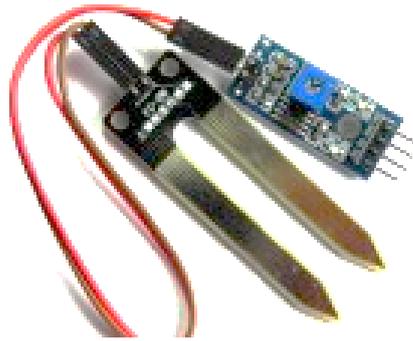


Figura 1.17. Módulo de Sensor de Humedad del Suelo [65]

Modulo Sensor de Temperatura del Suelo

Es el sensor DS18B20 mide la temperatura desde -55°C hasta 125°C con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, el cual puede medir la temperatura del suelo, utiliza la comunicación One Drive que es un protocolo que enviar y recibe datos por un solo cables, funciona con una alimentación de 5VDC [66]. En la figura 1.18 se observa el sensor de temperatura del suelo.



Figura 1.18. Módulo de Temperatura del Suelo [66]

1.4.5. Sistema de Energía Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se obtiene del conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, mediante el efecto fotoeléctrico que es la aparición de una corriente eléctrica en algunos materiales cuando se iluminan por radiación electromagnética transforman la energía solar en energía eléctrica [67].

Estos sistemas están formados por paneles solares, regulador de carga y sistema de acumulación o baterías [67].

1.4.5.1. Panel Solar

Los paneles solares usados son de alta eficiencia de conversión de energía Fabricado con 21 W alta llamado *Sun Power Panel*, estos aumentan la potencia de la tasa de conversión de 21% al 52%. Ofrece suficiente potencia para cargar 2 dispositivos simultáneamente. La tecnología de carga rápida de este panel solar ofrece la máxima velocidad de carga de 2,4 amperios por puerto o 3,5 amperios bajo la luz solar directa. En la figura 1.19 se observa el panel solar utilizando en el sistema de monitoreo.



Figura 1.19. Panel Solar

1.4.5.2. Regulador de carga.

El regulador de carga es un dispositivo que evita sobre descargas de la batería, con el fin de alargar la vida útil de las baterías. Cumple con dos funciones principales; la primera radica en garantizar una carga al acumulador e impedir eventos de sobrecarga y la segunda cuando la batería se descarga debe asegurar el suministro eléctrico diario suficiente además de evitar que la batería se descargue por completa [67]. En la figura 1.20 se ilustra el regulador de carga solar de la marca Morningstar SHS-10.



Figura 1.20. Regulador de Carga

1.4.5.3. Acumuladores o Baterías.

Son dispositivos que transforman la energía química en energía eléctrica. Su funcionamiento radica en el almacenamiento de energía química para el posterior consumo de energía eléctrica. Las baterías se recargan de almacenar energía durante un tiempo determinado, proporciona potencia elevada y fija un valor de voltaje al sistema [67].

Desacuerdo a los requerimientos de corriente y voltaje que se necesite se puede escoger la batería, se utilizó la batería Xiaomi, por contar con características importantes como la capacidad de corriente 10400AH, cuenta con el circuito electrónico que avisara el regulador de carga En la figura 1-21 se observa la Batería utilizada en el diseño del sistema.



Figura 1.21. Batería Xiaomi de 10400Ah [60].

CAPÍTULO 2 : MARCO METODOLÓGICO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se presenta la metodología que se utilizó en el diseño de la red de sensores para el monitoreo en tiempo real de las variables climáticas que afectan a los cultivos de maíz, ubicado en Azogues en el sector de Guápan. Se presenta la descripción del sistema de monitoreo, los softwares que se utilizaron para la configuración de dispositivos y la simulación de los radios enlaces que se van a realizar en el sistema de monitoreo, se indica el funcionamiento de la interfaz gráfica.

2.1 Diseño del sistema de monitoreo

2.1.1 Descripción del sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo de las variables climáticas que influyen en el desarrollo del maíz está conformado por una red de sensores, que se compone de dos nodos router y nodo coordinador. Esta red utiliza topología estrella en donde el coordinador se enlaza directamente con los nodos routers. El nodo router se encarga de la adquisición de los datos de las variables climáticas como temperatura relativa, humedad del ambiente, temperatura del ambiente, luminosidad, radiación, temperatura y humedad del suelo, estas variables son enviadas al nodo Coordinador a través de los XBee que son módulos que se comunican de forma inalámbrica y operan en la banda libre 2.4 GHz.

El nodo Coordinador se encarga de recibir la información de los nodos routers para procesarlos y enviar a la raspberry pi (estación Base) a través de comunicación serial. La información será procesada para ser almacenada de manera temporalmente en la microSD de la raspberry y almacenada en una base de datos de MySQL para llevar registros de las variables climáticas.

Los datos almacenados son analizados y visualizados en una interfaz web a través de gráficas en donde se va a mostrar el comportamiento de las variables climáticas, durante el día, semana, mes y año, se podrá observar los máximos, promedio y mínimos, esto se realizará en tiempo real. La interfaz es subida a la nube para que los clientes puedan acceder desde cualquier lugar. En la figura 2.1 se observa el esquema

del sistema de monitoreo propuesto, el cual está constituido por los siguientes elementos un nodo Coordinador y dos nodos routers.

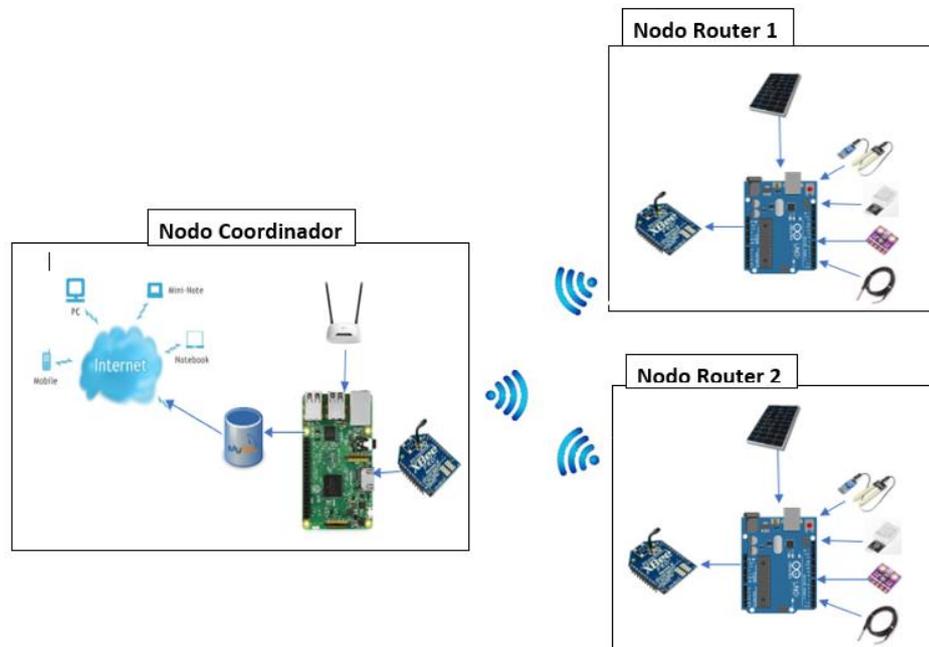


Figura 2.1. Esquema del sistema de Monitoreo

2.1.1.1 Nodo Router

El nodo router 1 y 2 se encargan de la adquisición de los datos y están compuesto por los sensores de humedad, temperatura, radiación, luminosidad, humedad y temperatura del suelo. Los nodos routers se encargan de recolectar la información de las variables climáticas que influyen en el desarrollo del maíz. También, tiene un microcontrolador (Arduino Uno) que adquiere la información mediante sus entradas analógicas y digitales. Adicionalmente este dispositivo proporciona alimentación a los sensores y al módulo XBee.

Para enviar los datos de las tramas desde el nodo router hacia el nodo coordinador se utilizó el dispositivo XBee S2C el cual tiene un alcance de 1.2 km en línea de vista. El nodo funciona con una fuente de alimentación compuesta por un banco de baterías de Litio y por un panel solar. En esta etapa se utilizaron los siguientes sensores Temperatura de Suelo DS18B20, Humedad y Temperatura del Ambiente DHT22, Humedad de Suelo FC-28, Radiación y Luminosidad GY-VEML6070. En la figura 2.2 se puede observar todos los elementos del nodo router.

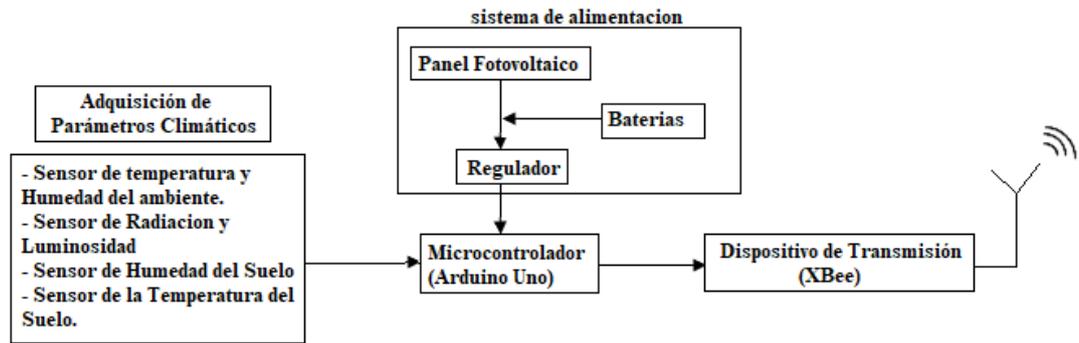


Figura 2.2. Esquema del Nodo Router

2.1.1.2 Nodo Coordinador

El nodo coordinador es el encargado de constituir la red. Primero se debe establecer el canal de comunicación y el PAN ID (identificador de red), el PAN ID permite que los nodos routers pueden unirse a una misma red.

El nodo coordinador se va a encargar de recibir las tramas de información que fue enviada por el nodo router, esta información es transmitida de forma serial a la raspberry pi. En la raspberry pi se encuentra instalada la base de datos MySQL en donde se van a almacenar los datos en un registro con hora y fecha del monitoreo en el servidor local y en la nube. En la figura 2.3 se observa el esquema del nodo coordinador.

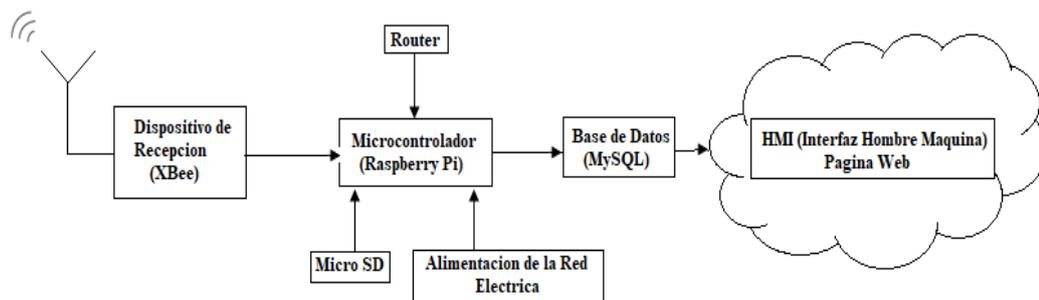


Figura 2.3. Estación de Monitoreo

2.1.1.3 Sistema De Alimentación De Los Nodos

Para el diseño del sistema de alimentación de los nodos se consideró importante tener en cuenta que no todas las localidades rurales dedicadas a la agricultura tienen acceso al servicio de energía eléctrica. El sistema propuesto requiere de alimentación constante para tener un funcionamiento ininterrumpido. Dado que la ubicación del cultivo de maíz donde se implementará el proyecto se encuentra en una zona con una

elevada incidencia de luz solar (por estar ubicada dentro de la línea Ecuatorial) se utilizarán paneles solares, los cuales son capaces de captar la energía de la radiación solar y transformarla en energía eléctrica. En la figura 2.4 se observa el sistema de alimentación energética de los módulos de los nodos routers.

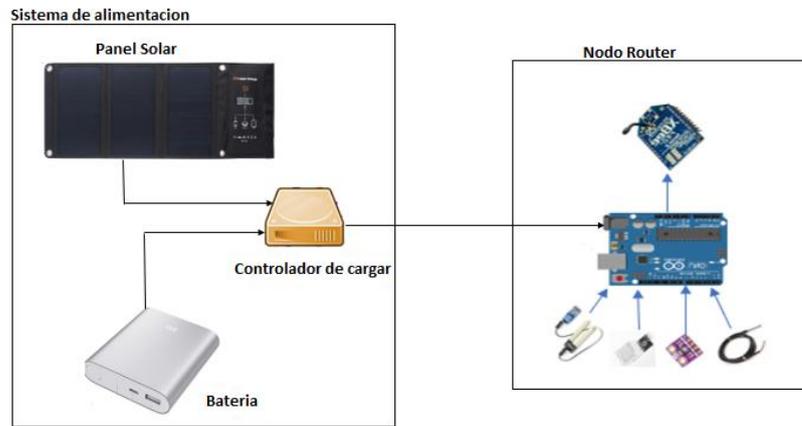


Figura 2.4. Sistema de alimentación para los nodos routers

Evaluación de la energía consumida por día.

Para poder dimensionar el sistema de alimentación, del sistema propuesto, del nodo router se debe realizar el cálculo de la potencia nominal de cada elemento que compone un nodo para determinar la energía diaria consumida, en la tabla 5 se enumeran dichos elementos y su consumo. Para conocer la potencia nominal de cada dispositivo se multiplica el voltaje DC (V) por la (I) corriente como se ve en la ecuación 1.

$$P = V * I [W] \quad (1)$$

Para determinar la potencia de consumo de cada elemento se aplica la ecuación 2.

$$P = \text{voltaje} * (I_{\text{arduino}} + I_{\text{sen temperatura}} + I_{\text{sen humedad}} + I_{\text{sen temperatura s}} + I_{\text{sen Radiacion}} + I_{\text{shelt xbee}} + I_{\text{bateria}}) \quad (2)$$

En la Tabla 2-1 se muestran los valores de potencia nominal relacionados con el tiempo de funcionamiento del sistema, multiplicando la potencia nominal (P) (en Watio) por el tiempo de funcionamiento (H) (en Horas) da como resultado el valor de la energía diaria consumida en unidades Vatio/Hora (E), la cual se puede calcular con la ecuación 3.

$$E = P * H = [W/H] \quad (3)$$

Tabla 2-1 Consumo energético del nodo Router

Dispositivo	Descripción	Cantidad	Voltaje de operación (v)	Corriente de consumo máxima (A)	Potencia nominal (W)	Tiempo de operación (H)	Energía diaria (W/H)	
Arduino uno	Arduino uno	1	5 Vdc	0.04	0.2	24	8.4	
Sensor temperatura	DTH 22	1	5 Vdc	0.025	0.125	24	3	
Sensor. Luminosidad y radiación	GY-VEML6070	1	5 Vdc	0.001	0.005	24	0.12	
Dispositivo de transmisión	XBEE s2c	1	5 Vdc	0.033	0.165	24	3.96	
Sensor. Humedad	FC-28	1	5 Vdc	0.035	0.175	24	4.2	
Sensor. Temperatura suelo	DS18B20	1	5 Vdc	0.015	0.075	24	1.8	
Batería	Xiomi 1400	1	5 Vdc	0.5	2.5	24	12.5	
TOTAL								33.98

La energía en corriente continua diaria consumida (ECCDC) del sistema es de 33.98 W/H. Por lo tanto, se tuvo en cuenta que la eficiencia de la batería utilizada a una tensión nominal de 5V y una eficiencia (η) de 95%; estos datos permiten calcular la energía total consumida por el sistema (ET) mediante la ecuación 4 [67].

$$ET = \frac{ECCDC}{\eta} = [W/H] \quad (4)$$

$$ET = \frac{33.98}{0.95} = 35.77[W/H]$$

El valor de la Energía Total consumida por el sistema, a diario, es de: 35.77 W/H; con este valor se calculan los parámetros del sistema fotovoltaico, para ello se requiere calcular el Horario Solar Pico (HPS).

Selección del Horario Solar Pico

Para determinar las horas solares pico se debe tener en cuenta los siguientes términos:

- La irradiancia.- es la magnitud de la intensidad de iluminación solar que llega al ser humano [67].
- La irradiación.- es la cantidad de irradiancia recibida por el ser humano en un intervalo de tiempo por unidad de superficie [67].
- Las horas solares pico (HPS) es el número de horas que existe irradiación solar constante que tiene el valor de 1000 W/m² [67].

Para obtener las HPS en la provincia de Cañar se utilizó el atlas solar del Ecuador el cual indica los siguientes datos:

La irradiación solar promedio anual es de 4574.99Wh/ m² por día[68].

Irradiación solar constante 1000 W/ m²

Para obtener las horas picos HPS solares se tomó irradiación solar promedio anual (4574.99Wh/ m² /día) y se dividió entre 1000 W/ m² y obtenemos el valor de 4.574 h*día

Dimensionamiento del panel fotovoltaico

Para el dimensionamiento del panel fotovoltaico se hace el cálculo de número de paneles solares que se van a necesitar en los módulos routers, para lograr esto se necesitan los siguientes parámetros:

- Potencia pico del panel solar (Pp) es la potencia que produce el panel solar cuando existe máxima iluminación solar, 21W es el parámetro que nos tiene el panel solar utilizado.
- Factor global de pérdidas (Fg) es la disminución de la energía entregada por el generador respecto de la energía solar. Este se encuentra entre 0.65 y 0.9; para este caso se tomó un promedio 0.77 [68].

- Energía total consumida (ET) es de 35.77[W/H] consumida por los módulos de los nodos routers.

Para obtener el número total de paneles solares requeridos (NT) para el sistema, se aplica la ecuación 5:

$$NT = \frac{ET}{Pp * HPS * Fg} \quad (5)$$

Remplazando los valores da el siguiente resultado:

$$NT = \frac{35.77}{21 * 4.57 * 0.77} = 0.4840$$

El resultado obtenido del número total de paneles solares requeridos (NT) indica que se necesita 1 panel solar para la provisión de energía al nodo, si el panel trabajara a la mitad de la capacidad aun cubre el consumo energético requerido por el nodo.

Cálculo de la Capacidad de las Baterías (CB).

Definido el panel a utilizar se procede a dimensionar el bloque de baterías para almacenar la energía proveniente de los paneles solares, además se requiere una autonomía de 18 horas por seguridad. Para determinar el cálculo de la capacidad de la batería se utiliza el dato de la energía diaria consumida por el sistema que es de 35.77W/H [67]. En la ecuación 6 se determina la capacidad de la batería.

$$CB = \frac{D * ET}{V * Pd} = [Ah] \quad (6)$$

Donde:

CB = Capacidad de la Batería [Ah]

D = Días de Autonomía (16 horas = 0.66 dia)

ET = Demanda de Energía [W/H]

V = Voltaje de la Batería [V]

Pd = Profundidad de descarga (0.6).

El resultado de la capacidad de la batería es:

$$CB = \frac{0.66 * 35.77}{5 * 0.6} = 7.8694[Ah]$$

Los resultados obtenidos de CB determinando que la capacidad requerida para la batería es de 7.8694 [Ah].

Al necesitar una capacidad mínima de 7.8694[Ah] para el funcionamiento del nodo se escogió la batería Xiaomi con una capacidad 10400[Ah] que es mayor a la requerida. Usando la ecuación 7 se determina el tiempo máximo de duración de la batería cargada al 100% y sin estar conectada a una fuente de alimentación

$$Bateria_{duracion} = \frac{10400 * 5 * 0.6}{35.77} = 0.8722días \approx 21 \text{ horas} \quad (7)$$

2.1.2 Software de Simulación y Configuración de Dispositivos

En esta sección se presenta la descripción de la simulación de los radios enlaces y configuración de los dispositivos XBee.

2.1.2.1 Simulación En Radio Mobile

Para realizar la simulación de radio enlace se utilizó el programa Radio Mobile, con el cual se analiza y planifica el funcionamiento de un sistema de radiocomunicación fijo o móvil, y permite observar los niveles de señal que existe en las zonas de un enlace.

Para realizar la simulación en Radio Mobile se determinó las ubicaciones (longitud y latitud) de los nodos routers y nodo coordinador. En la figura 2.5 se observa la ubicación de los nodos en el sector de Guápan, esto se realizó con la ayuda de Google Earth el cual permite ver la longitud y latitud de la ubicación.



Figura 2.5. Ubicación de los nodos en el Sector de Guápan.

La ubicación de la latitud y longitud de los nodos la podemos observar en la tabla 6:

Tabla 2-2 Ubicación de los Nodos

Nodos	Latitud	Longitud
Coordinador	-2.713704	-78.85523
Nodo Router 1	-2.71500	-78.85549
Nodo Router 2	-2.714607	-78.854420

Para realizar la simulación se utiliza la información de los dispositivos XBee la potencia, la sensibilidad de receptor, características de antenas, pérdidas y la ubicación de los nodos. Este simulador utiliza el modelo de propagación Longley-Rice y efectúa cálculos de enlaces de radio en terrenos irregulares, también utiliza perfiles geográficos. En la figura 2.6-(a). se observa los detalles de la configuración del enlace de radio de la frecuencia de trabajo y en la figura 2.6-(b). los parámetros del equipo de transmisión.

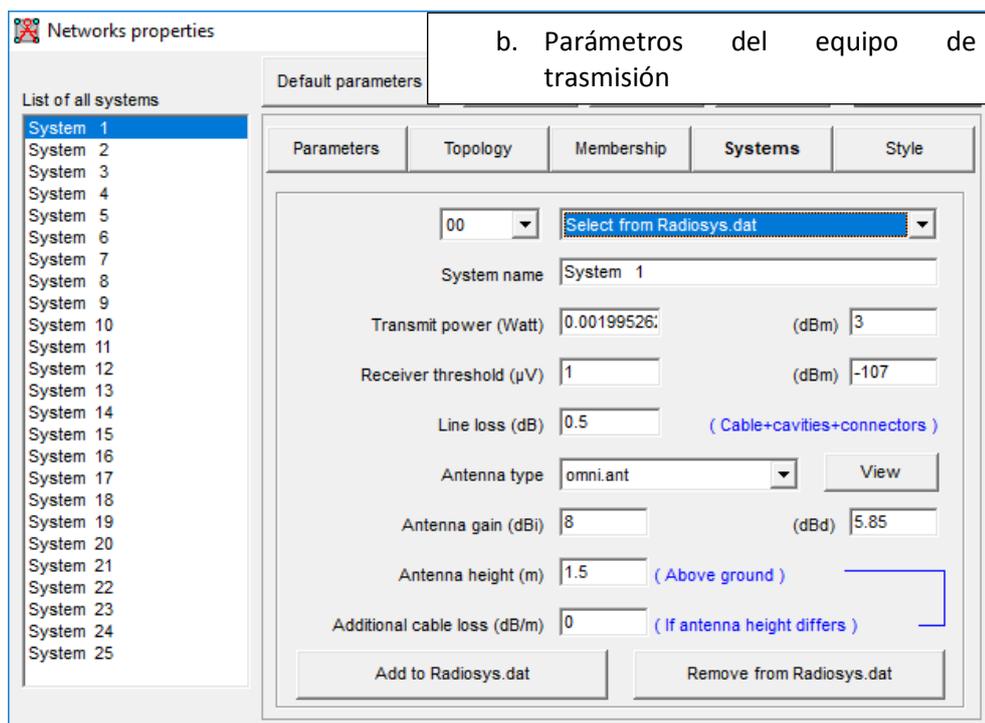
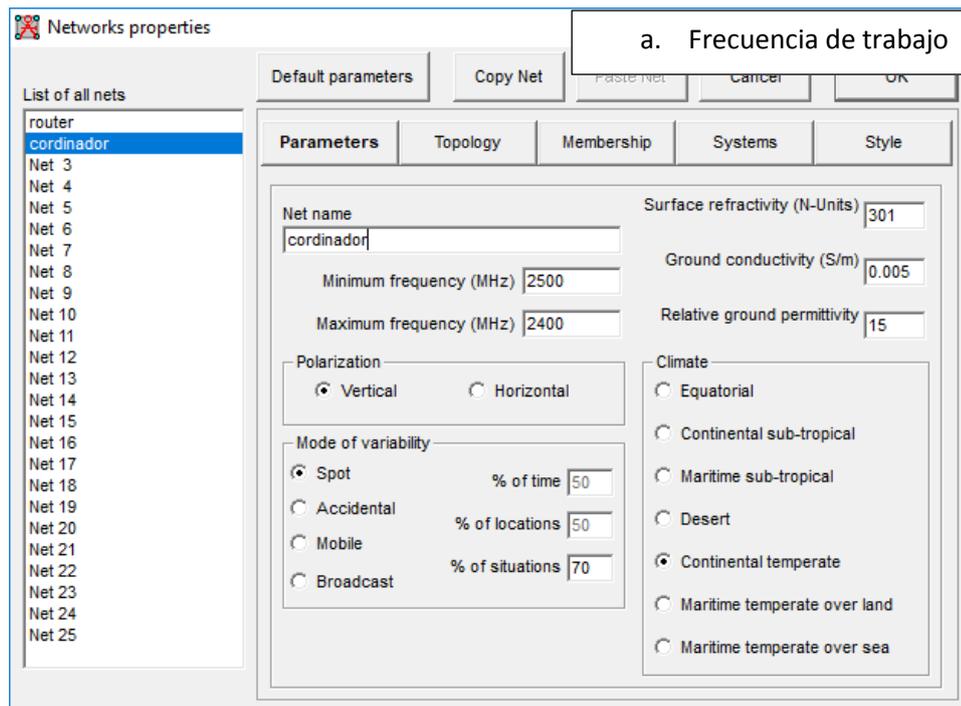


Figura 2.6. Detalles de la configuración del enlace de Radio a. Frecuencia de trabajo b. Parámetros del equipo de transmisión

2.1.2.2 Configuración De Los XBee Y Pruebas De Transmisión

Para configurar con los dispositivos XBee se utilizó el software X-CTU que es una plataforma de interfaz gráfica de usuario, amigable, la cual permite administrar y configurar los módulos de RF teniendo en cuenta que los dispositivos operan en el

mismo grupo de red PAN ID, y tiene el mismo canal de comunicación y velocidad de transmisión.

Configuración De Los Dispositivos XBee

El primer dispositivo XBee está configurado en modo coordinador, se debe tener en cuenta los parámetros más importantes son el DH, DL, MY, SH, SL y PAN ID. Estos parámetros son necesarios para que el nodo coordinador logre identificar al resto de los nodos que conforman la red. En la figura 2.7 se observa la configuración del módulo XBee en modo coordinador, en donde se habilita la opción CE (Coordinador Enable) marcado en la figura con el recuadro rojo inferior.

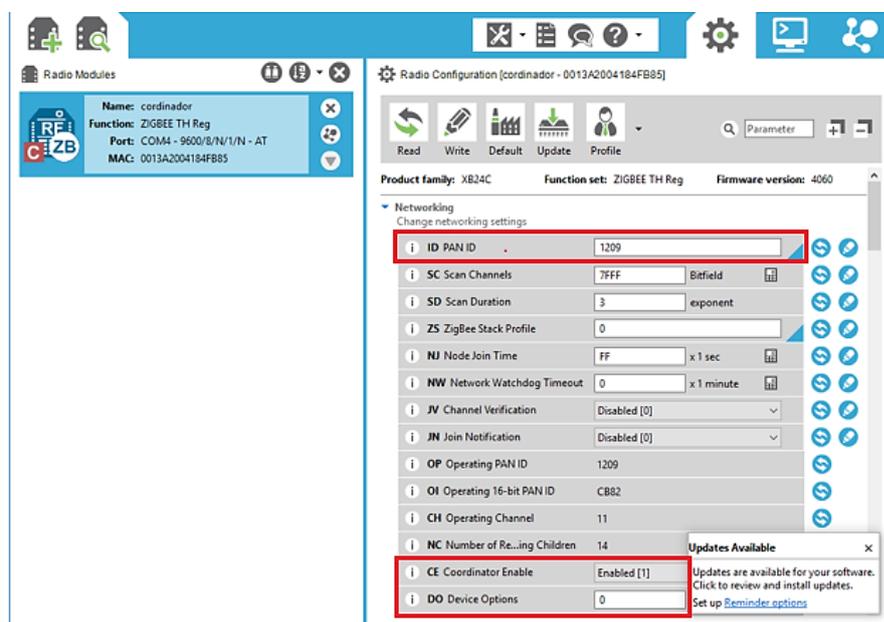


Figura 2.7. Configuración del nodo Coordinador

Una vez estructurado el nodo coordinador se procede a la configuración de los dos nodos router. Estos se encargan de adquirir y enviar la información hacia el nodo coordinador, es importante que los nodos router tengan la misma ID del nodo coordinador para que puedan unirse a la misma red. En la figura 2.8 se puede observar la configuración del dispositivo XBee en modo router, se mantiene deshabilitado la opción CE del nodo coordinador, marcado en la figura con el recuadro rojo inferior.

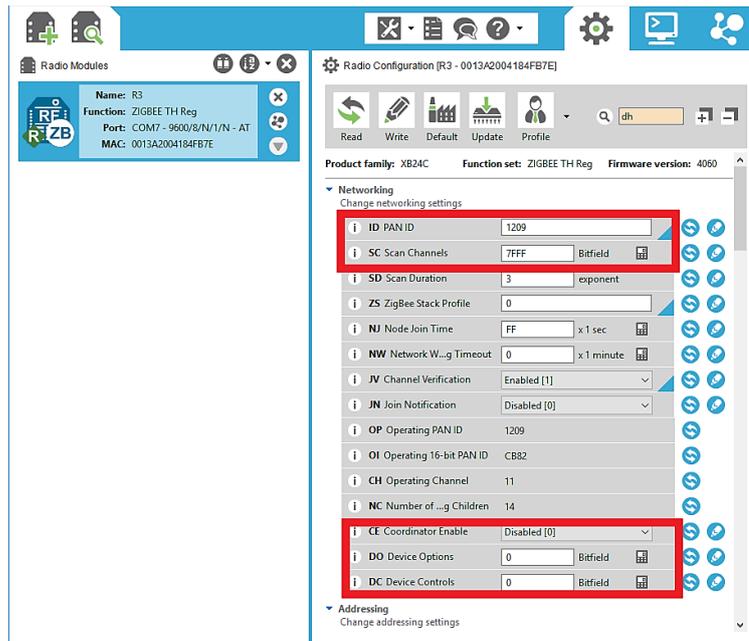


Figura 2.8. Configuración del nodo Router

Un resumen de los parámetros configurados (PAN ID, SL, SH, MY, DL, DH) tanto en el nodo coordinador, como en los nodos routers, se puede observar en la tabla 2-3.

Tabla 2-3 Parámetros configurados en los XBee S2C

Parámetros	Descripción	Valores XBee Coordinador	Valores XBee router 1 y 2
PAN ID	Identificador de Red	1209	1209
SL	Número de serie Bajo	4076E26E	4076E267
SH	Número de serie Alto	13A200	13A200
MY	Dirección de red de 16 Bits	AAAA	AAAA
DL	Dirección de destino alta	4076E267	4076E26E
DH	Dirección de destino baja	13A200	13A200

Pruebas Envió De Datos Con Los Dispositivos XBee

Las pruebas de envío de datos con los dispositivos XBee fueron realizadas mediante la transmisión y recepción de datos entre los módulos XBee. Para las pruebas de transmisión se envió el mensaje “*envió mensaje*” el cual se puede visualizar en el

monitor del X-CTU y se observó el correcto funcionamiento. En la figura 2.9 se observa la prueba de transmisión desde el dispositivo XBee en modo router.

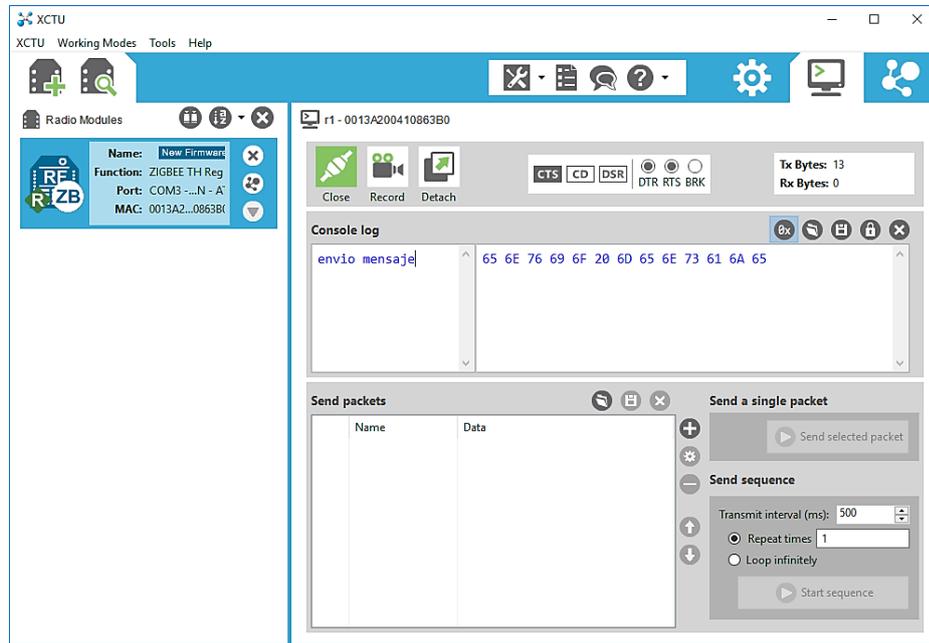


Figura 2.9. Prueba de envío de mensaje desde el XBee Router

La recepción del mensaje en el dispositivo XBee en modo coordinador se puede visualizar en la figura 2.10.

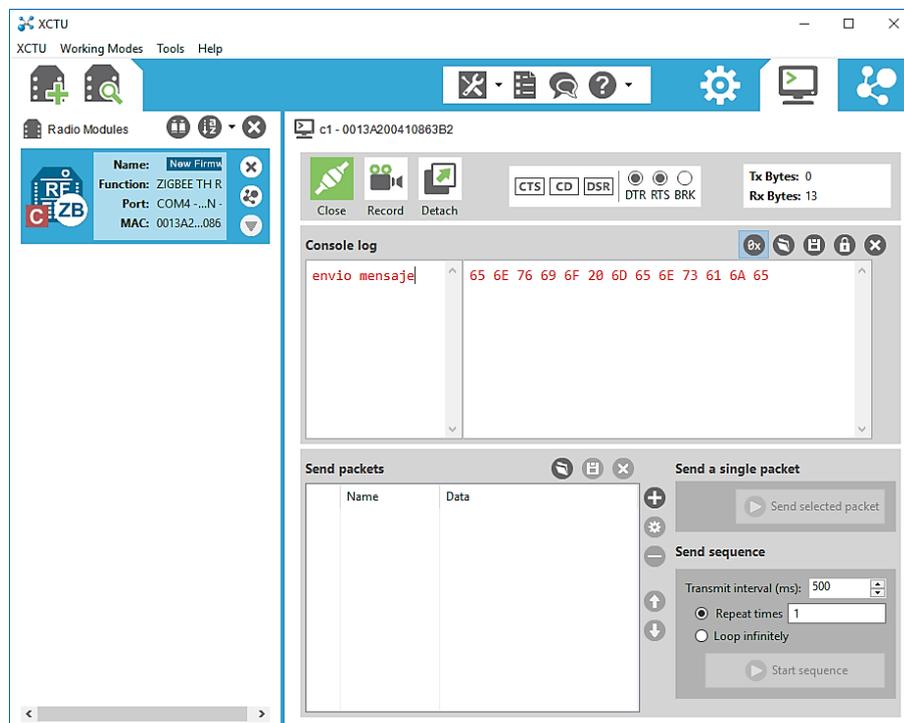


Figura 2.10. Prueba de recepción del mensaje en el XBee Coordinador.

Pruebas Envió De Datos Conectado Al Nodo De Sensores.

Realizada la configuración del nodo coordinador, los nodos routers y las respectivas pruebas de envío y recepción de mensajes; se realizó el proceso para verificar la correcta transmisión de información de los nodos conectados a los sensores y en el cultivo de maíz que se está analizando, como se puede apreciar en la figura 2.11.

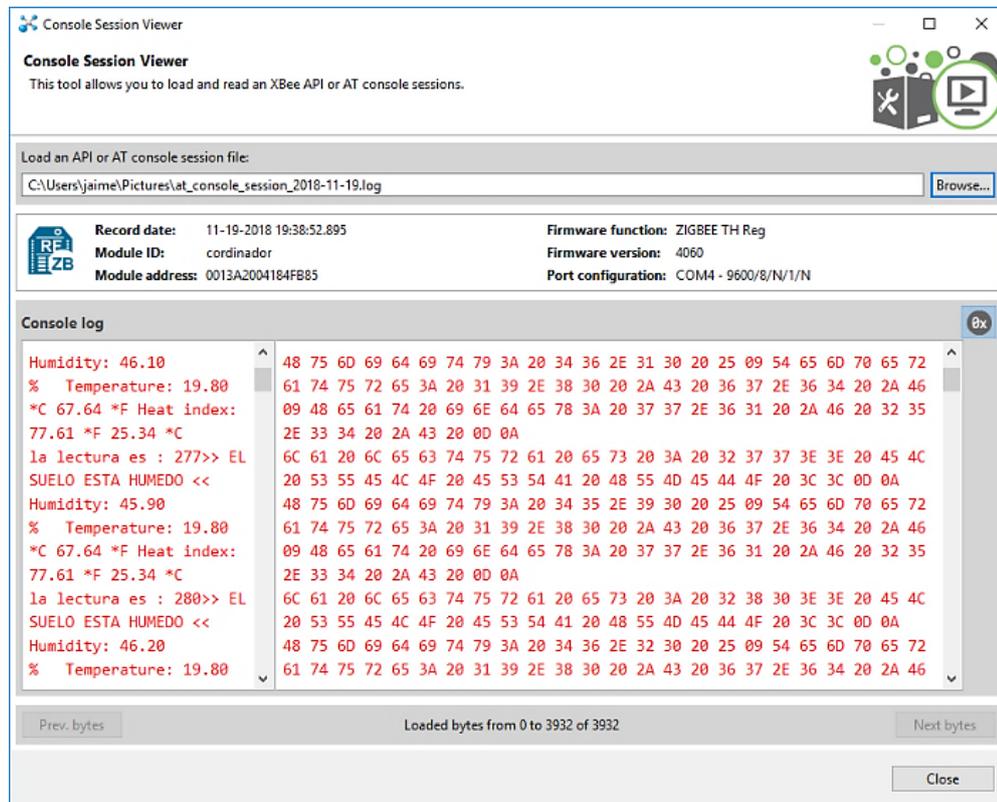
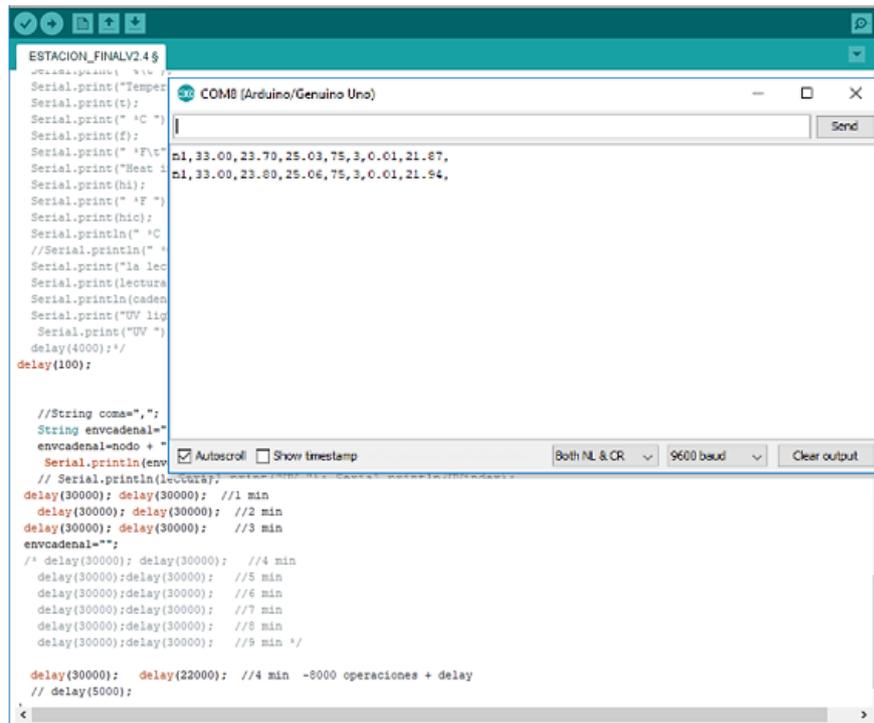


Figura 2.11. Pruebas de adquisición, envío y recepción de datos obtenidos por los sensores en el nodo.

2.1.2.3 Programación De Los Microcontroladores

Para realizar la lectura de los datos enviados por los sensores se desarrollaron los códigos de programación de los microcontroladores (Arduino uno) los cuales fueron realizados en Arduino IDE. Se elaboró un código para los sensores de: Temperatura y Humedad del ambiente, radiación, luminosidad, Humedad del suelo y Temperatura del suelo. En el código se debe declarar las librerías necesarias que van a utilizar los diferentes sensores, y en el cuerpo del programa se declaran las variables de cada sensor. Los datos adquiridos por los sensores son concatenados en una sola cadena de textos y mediante la función “*delay*” genera los retardos para el envío por el puerto serial cada 4 minutos. Cada nodo router tendrá un identificador el cual ayudará a diferenciar los datos en el momento de ser enviados al nodo coordinador. En la figura

2.12 se observa el código de programación y en el monitor serie se observa los datos que son adquiridos por los sensores en una sola cadena de texto.



The screenshot shows the Arduino IDE interface. The left pane displays the source code for a program named 'ESTACION_FINALV2.4'. The code includes several Serial.print statements for variables 't', 'F', 'hi', 'F', 'hic', 'lect', 'cadena', and 'UV lig'. It also features a loop with multiple delay(30000) calls and a final delay(50000). The right pane shows the serial monitor for 'COM8 (Arduino/Genuino Uno)' with the output: 'n1,33.00,23.70,25.03,75,3,0.01,21.87, n1,33.00,23.80,25.06,75,3,0.01,21.94,'. The serial monitor settings are set to 9600 baud and Both NL & CR.

Figura 2.12. Programación de los microcontroladores

2.2 Diseño de la Pagina Web

Para diseñar el interfaz web se montó un servidor web Apache en la raspberry pi, este servidor es de código abierto que utiliza la plataforma Linux. También se instaló un sistema de gestión de bases de datos llamado MySQL en donde se va a almacenar la información censada por la red de sensores.

2.2.1 Base de Datos.

Para leer la información y enviar a la Base de Datos de MySQL se creó un script con el nombre recdatos.py con lenguaje de programación Python, como se observa en la figura 2.13. A continuación se indica el proceso que realiza el código de programación:

- Inicializa el puerto serial: “/dev/ttyACM0” a una velocidad de transmisión de 9600 baudios.
- Se lee los datos que ingresan en el puerto y se guarda en la variable “a”
- Se crea un vector con el nombre “vector”: donde separa los datos de los sensores, identificando las comas para guardarlos por posición desde la cero y los guardará en el vector.

- Identifica el tipo de nodo: compara si en la primera posición contiene el identificador “n1” o “n2”
- Identificado el nodo se da el nombre a cada variable que contiene el vector con los datos de los sensores.
- Con la ayuda de un navegador ligero “elinks” se realiza peticiones GET para que los datos sean encriptados y enviados a un script php de cada nodo.

```

2 import serial
3 import time
4 import subprocess
5 import smtplib
6
7 sent = False
8
9 while True:
10     arduino = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)
11     a = arduino.readline()
12     vector = a.split(',')
13     if vector[0] == "n1":
14         nd = vector[0]
15         hum = vector[1]
16         tem = vector[2]
17         Trel = vector[3]
18         Hs = vector[4]
19         lum = vector[5]
20         irad = vector[6]
21         tems = vector[7]
22         url = "http://proyectoplatano-maiz-com-ec.umbler.net/nodo_1.php?hum="+str(hum)+"&tem="+str(tem)+"&trel="+str(Trel)+"&Hs="+str(Hs)+"&lum="+str(lum)+"&irad="+str(irad)+"&tems="+str(tems)
23         p = subprocess.Popen(["usr/bin/elinks", url])
24         time.sleep(10)
25         p.kill()
26     elif vector[0] == "n2":
27         nd = vector[0]
28         hum = vector[1]
29         tem = vector[2]
30         Trel = vector[3]
31         Hs = vector[4]
32         lum = vector[5]
33         irad = vector[6]
34         tems = vector[7]
35         url = "http://proyectoplatano-maiz-com-ec.umbler.net/nodo_2.php?hum="+str(hum)+"&tem="+str(tem)+"&trel="+str(Trel)+"&Hs="+str(Hs)+"&lum="+str(lum)+"&irad="+str(irad)+"&tems="+str(tems)
36         p = subprocess.Popen(["usr/bin/elinks", url])
37         time.sleep(20)
38         p.kill()

```

Figura 2.13. Adquisición de los datos de los sensores

Después se desarrolla dos scripts con lenguaje de programación php, estos se encargan de: conectar a la Base de Datos, contener el nombre de la BD, el nombre del usuario y su contraseña de *phpMyAdmin*. Adicionalmente, los scripts de cada nodo van a llamar a las tablas que tienen el nombre de *Nodo 1* y *Nodo 2*, los datos al ser decodificados son enviados desde el script de Python para ser almacenados en sus respectivas tablas de MySQL. En la figura 2.14 se observa el código de programación para él envío de información a la Base de Datos llamada “*infoagri*”.

```

consulta.php x datocons.php x
1 <?php
2 // Function to print out objects / arrays
3 function PrintObj ($o)
4 { echo "<pre>"; print_r($o); echo "</pre>"; }
5
6 // Load the POST.
7 $data = file_get_contents("php://input");
8
9 // ...and decode it into a PHP array.
10 $data = json_decode($data, true);
11
12 require("conexion_1.php");
13 $query = "INSERT INTO datostesis(Hum,Temp,Trel,Hsul,Lum,IRad,TemS) VALUES ('".$data['hume']
14 mysqli_query($mysqli, $query);
15 mysqli_close($mysqli);
16
17 // Do whatever with the array.
18 PrintObj($data);
19
20 ?>

```

Figura 2.14. Envió de datos a MYSQL.

Los datos serán almacenados en la Base de Datos MySQL, en las tablas del nodo 1 y nodo 2. Estas tablas tienen un identificador (humedad del ambiente, temperatura, temperatura relativa, Luminosidad, Radiación, Día y Hora) en donde se va a almacenar la información enviada de los nodos routers en tiempo real. En la figura 2.15 se observa los datos almacenados en MySQL.

SELECT * FROM "nodo_1" ORDER BY "nodo_1"."ID" ASC

Perfilando [[Editar en línea](#)] [[Editar](#)] [[Explicar SQL](#)] [[Crear código PHP](#)] [[Actualizar](#)]

1 > >> | Número de filas: 25 | Filtrar filas:

Ordenar según la clave: Ninguna

+ Opciones		ID	Hum	Temp	Trel	Hsul	Lum	IRad	TemS	Dia	Hora
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	1	72	15.9	25.04	25	0	0	13.6	2019-03-01	00:01:17
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	2	64	15.8	26.86	75	0	0	14	2019-03-01	00:20:17
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	3	57.1	16	27.52	75	0	0	14	2019-03-01	00:40:17
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	4	54.3	15.6	28.17	75	0	0	13.9	2019-03-01	01:01:38
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	5	55.9	15.4	28.3	75	0	0	13.9	2019-03-01	01:20:00
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	6	58.9	15.5	27.92	75	0	0	14	2019-03-01	01:40:00
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	7	62.9	13.9	29.63	25	0	0	14.2	2019-03-01	02:01:31
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	8	63.4	13.9	29.56	25	0	0	14.1	2019-03-01	02:20:31
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	9	60.5	14.3	29.35	25	0	0	14.5	2019-03-01	02:40:31
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	10	58.2	14.7	29.02	25	0	0	14.5	2019-03-01	03:00:16
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	11	59.3	14.9	28.64	25	0	0	14	2019-03-01	03:20:16
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	12	65.4	13.8	29.37	25	0	0	13.8	2019-03-01	03:40:16

Figura 2.15. Base de Datos MYSQL

2.2.2 Lenguaje Y Herramienta Para Diseño De La Interfaz Gráfica

Para el desarrollo de la página web se utilizó diferentes lenguajes y herramientas para el diseño de la interfaz gráfica de forma amigable y fácil manejo. En la figura 2.16 se observa el lenguaje de programación php 7 siendo el más importante para desarrollar la interfaz de forma dinámica. A continuación, se describen los lenguajes y herramientas que se utilizaron en el desarrollo de la interfaz gráfica:

Php7: lenguaje de programación para el desarrollo de páginas web dinámicas, versión 7.

HTML 5: lenguaje de programación enfocado a la síntesis de las páginas web, en su versión 5 se han incluido nuevas funcionalidades entre las que destaca manejar grandes conjuntos de datos.

CSS 3.0: lenguaje de diseño de hojas de estilos para definir la presentación de la página web haciéndola más amigable al usuario.

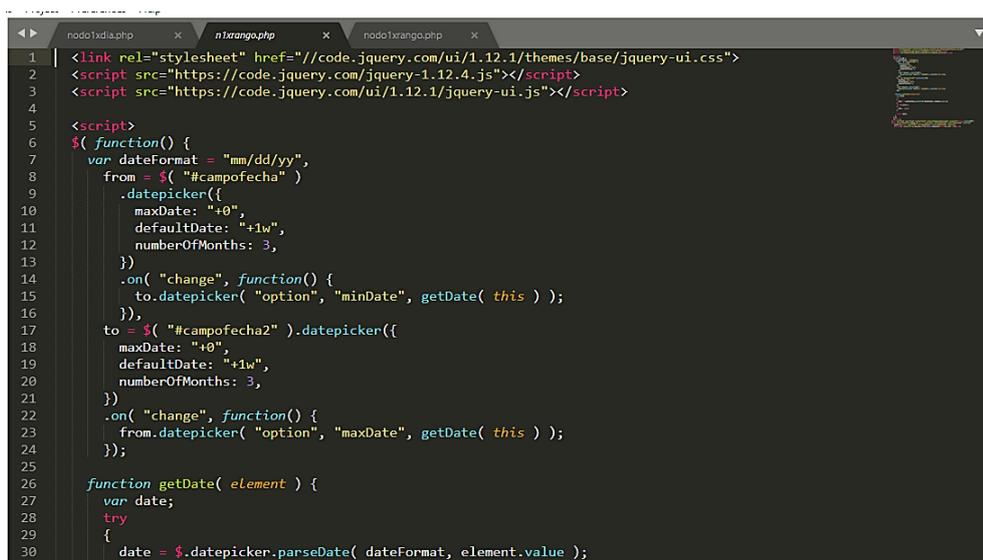
SQL 5.7: lenguaje dedicado a realizar consultas en las bases de datos.

Java Script: lenguaje utilizado para aminorar la carga de procesos a nivel de servidor como validaciones, manejo de cadenas de caracteres, manejo de fechas, entre otros.

jQuery 3.7: biblioteca para facilitar el manejo de eventos especiales en JavaScript.

Python 3: lenguaje de alta nivel multipropósito, utilizado para la comunicación entre los nodos y la página web.

JSON: es un formato para el intercambio de datos en modo texto.



```
1 <link rel="stylesheet" href="//code.jquery.com/ui/1.12.1/themes/base/jquery-ui.css">
2 <script src="https://code.jquery.com/jquery-1.12.4.js"></script>
3 <script src="https://code.jquery.com/ui/1.12.1/jquery-ui.js"></script>
4
5 <script>
6 $( function() {
7     var dateFormat = "mm/dd/yy",
8         from = $( "#campofecha" )
9             .datepicker({
10                 maxDate: "+0",
11                 defaultDate: "+1w",
12                 numberOfMonths: 3,
13             })
14             .on( "change", function() {
15                 to.datepicker( "option", "minDate", getDate( this ) );
16             } ),
17         to = $( "#campofecha2" ).datepicker({
18                 maxDate: "+0",
19                 defaultDate: "+1w",
20                 numberOfMonths: 3,
21             })
22             .on( "change", function() {
23                 from.datepicker( "option", "maxDate", getDate( this ) );
24             } );
25
26     function getDate( element ) {
27         var date;
28         try
29         {
30             date = $.datepicker.parseDate( dateFormat, element.value );
```

Figura 2.16. Lenguaje de Programación PHP

2.2.3 Interfaz Grafica

La interfaz gráfica o sitio Web “*Proyecto Plátano-Maíz 2019*” permite la visualización de forma dinámica y gráfica de las variables climatológicas en tiempo real que influyen en el desarrollo de los cultivos de maíz, esta información es proporcionada por los nodos router 1 y router 2, los cuales se encargan de medir las siguientes variables: humedad del ambiente, temperatura del ambiente, temperatura relativa, luminosidad, radiación, humedad y temperatura del suelo.

La información almacenada en la base de Datos “info-agri” se analizan mediante gráficos estadísticos, creados a partir de la librería Highcharts basada en JavaScript, en donde los datos se van a clasificar por fecha y hora, así se podrán ver los datos almacenados en MySQL. En las gráficas se puede visualizar los valores estadísticos de las variables como lo son: máximos, mínimos y valor promedio, en un rango de un día, semana, mes y año.

En la página principal de la interfaz Web presenta un resumen de los datos almacenados, en tiempo real de la WSN. También tiene la opción de comparar los datos del nodo 1 con el nodo 2. El menú de opciones se encuentra ubicado en, la parte derecha de la página. En la figura 2.17 se observa la página principal (home) de la interfaz.

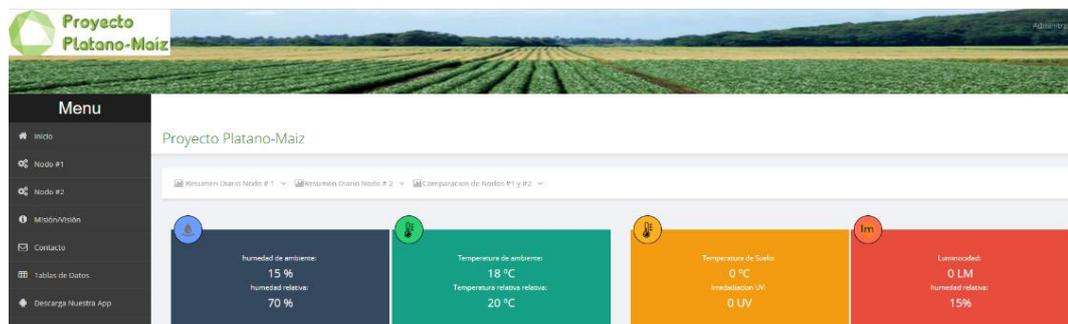


Figura 2.17. Interfaz Gráfica menú-Inicio

El menú nos presenta diferentes opciones diseñadas, la primera opción “Inicio” permite volver a la página principal donde se presenta un resumen de los datos en tiempo real y las gráficas durante el día actual de monitoreo. La segunda opción permite elegir entre el “Nodo #1” y el “Nodo #2”, en esta opción va a permitir visualizar los datos almacenados de los WSN, en diferentes rangos de fecha: un día, semana, mes y año como se observa en la figura 2.18.



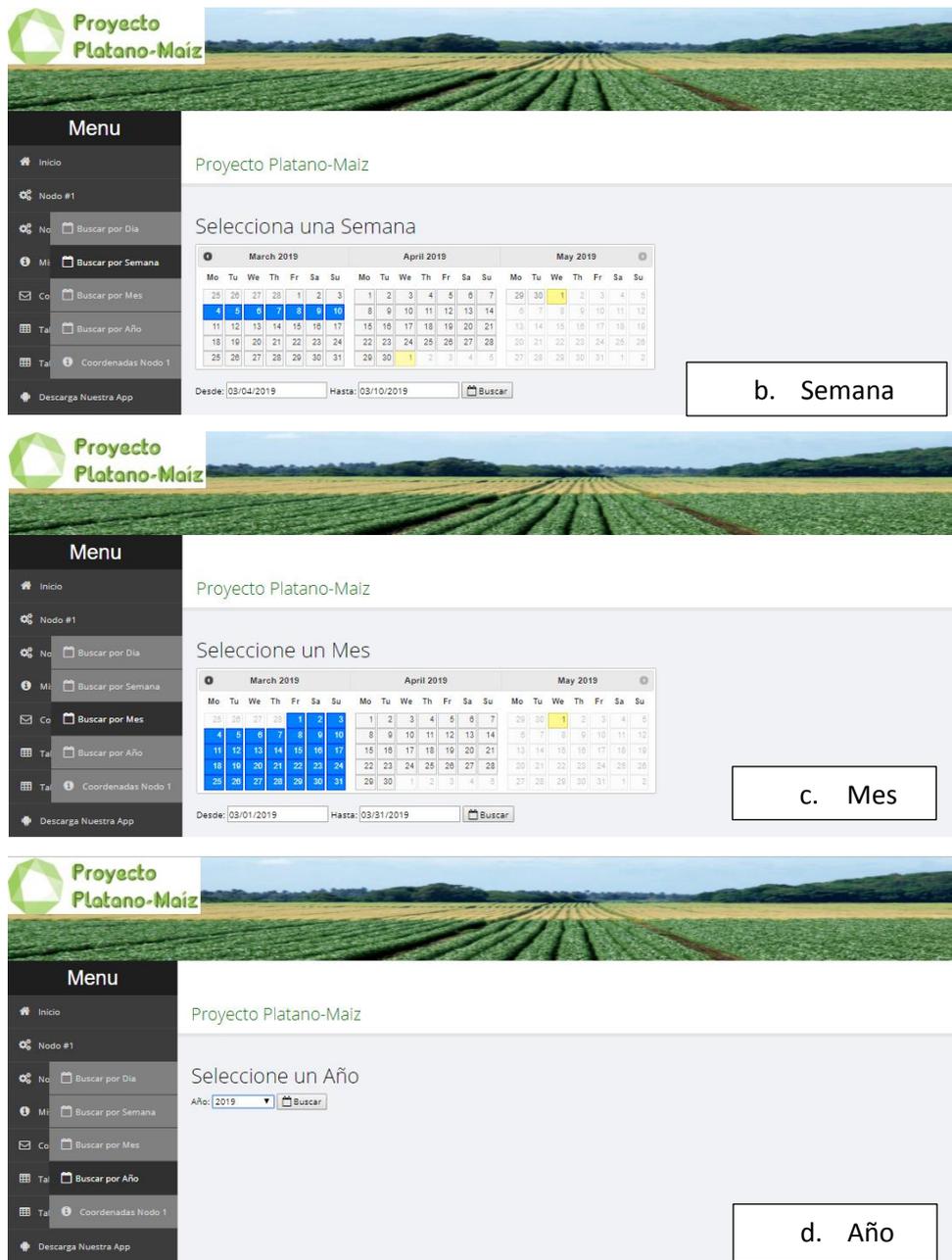
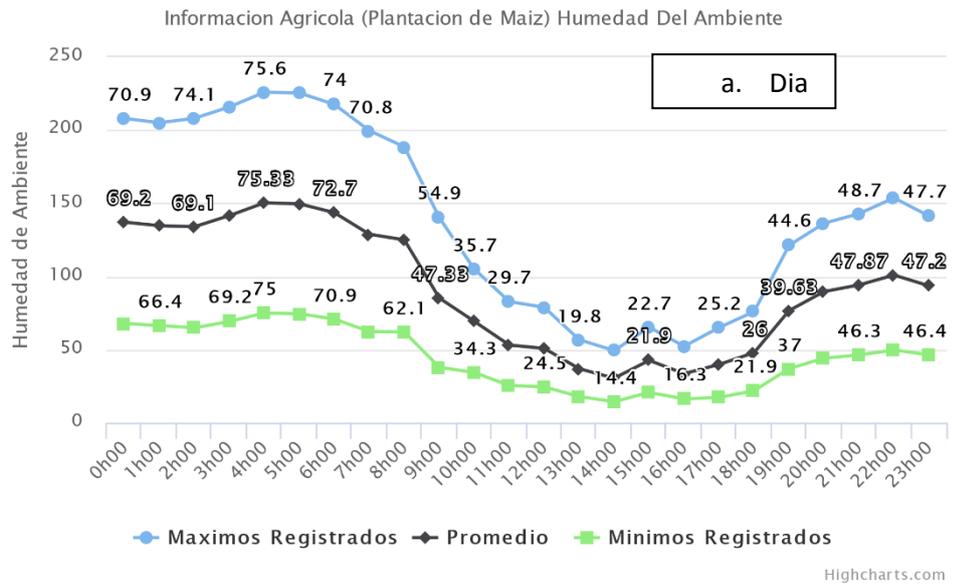


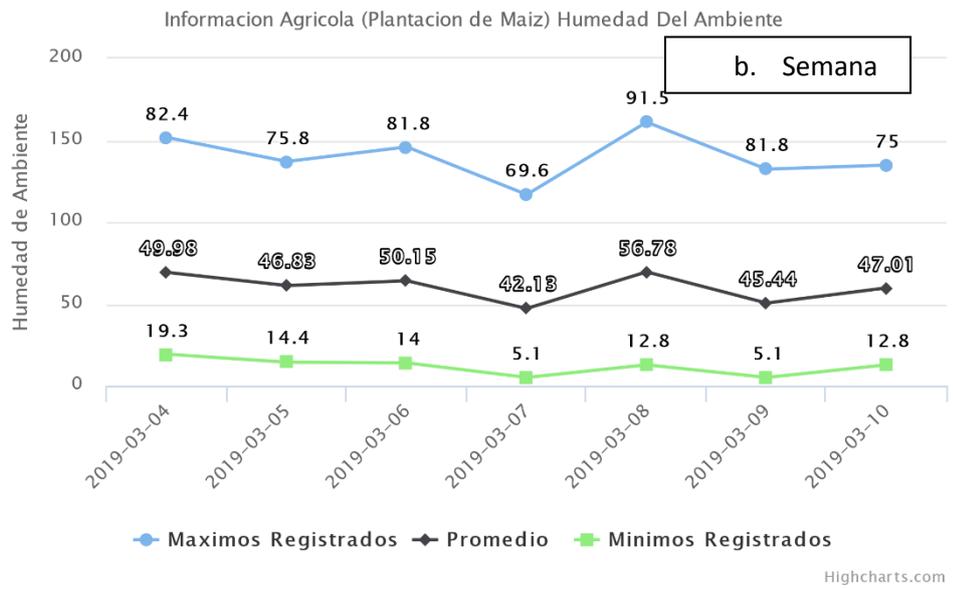
Figura 2.18. Opción para visualizar Datos de variables climáticas por a. día, b. semana, c. mes y d. año.

Con las opciones en los nodos se puede ver el comportamiento de la variable climática que influyen en el desarrollo del maíz, en diferentes rangos de fechas para un mejor análisis, en donde se obtienen los máximos, promedio y mínimos de un día, semana, mes y año. También, permite descargar la imagen en diferentes formatos y exportar la base de datos que se está manejando para generar los gráficos, en la figura 2.19 se observa los datos en diferentes rangos de fechas.

Humedad Del Ambiente Nodo #1



Humedad Del Ambiente Nodo #1



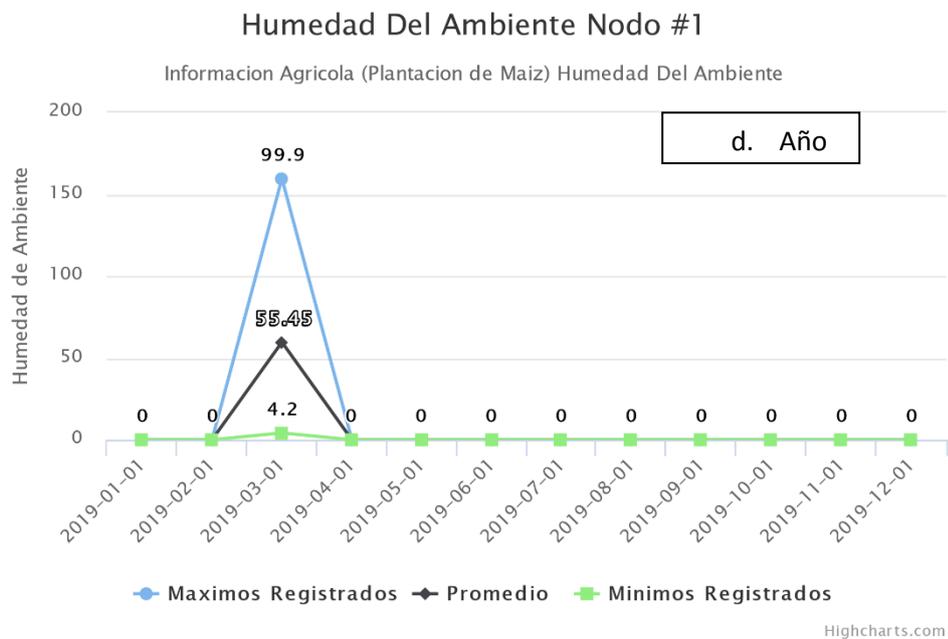
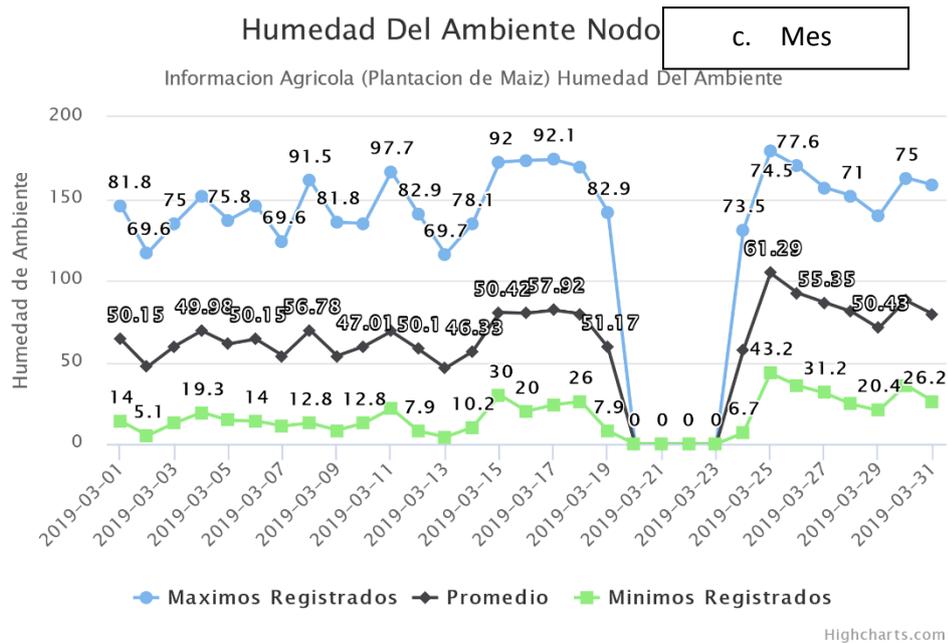


Figura 2.19. Grafica de la Humedad del Ambiente a. Día, b. Semana, c. Mes y d. Año.

En las opciones del menú se puede ver la “Misión y la Visión” del proyecto, los datos del contacto y donde estamos ubicados, como se ve en la figura 2.20.

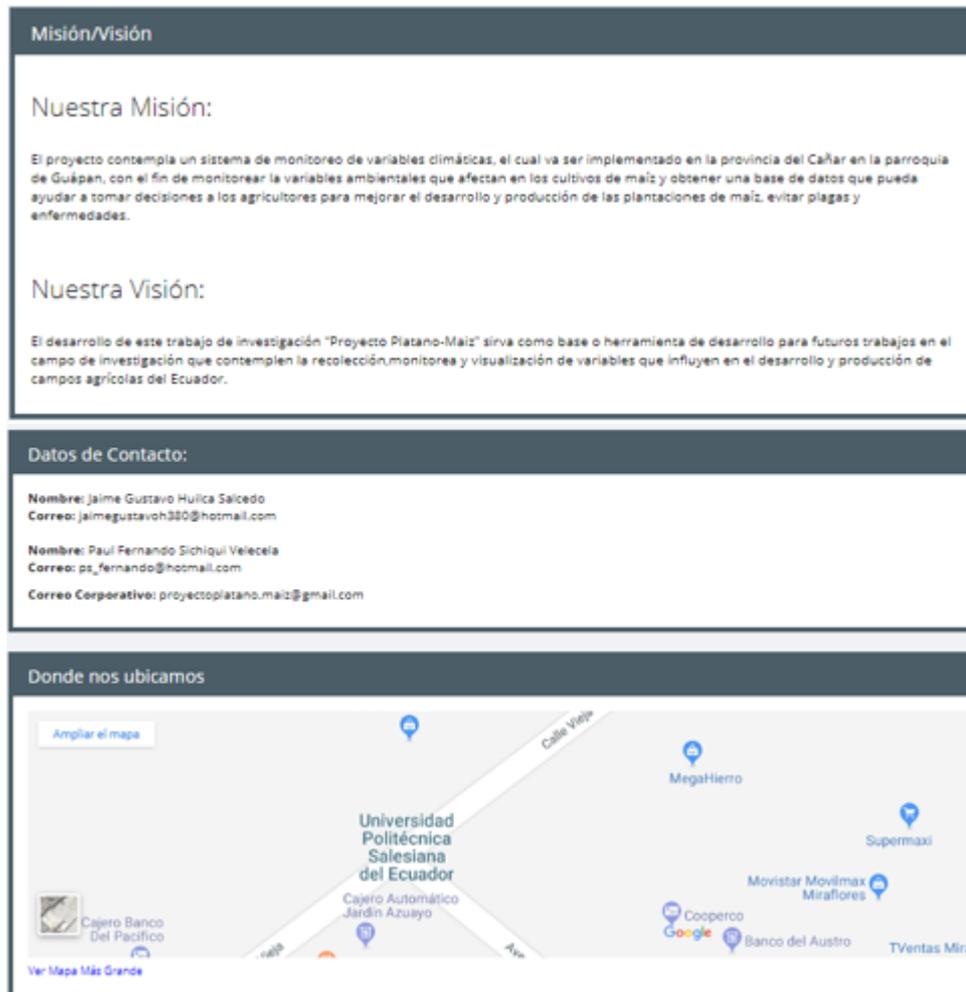


Figura 2.20. Opción de Misión/ Visión y Contacto/ Ubicación

La aplicación también permite visualizar una tabla con los datos que fueron y los que están siendo adquiridos, con su respectiva fecha y hora. En la figura 2.21 se observa la tabla de Datos.

Menu

- Inicio
- Nodo #1
- Nodo #2
- Misión/Visión
- Contacto
- Tablas de Datos
- Descarga Nuestra App

Proyecto Platano-Maiz

Resultados Presentados para la Fecha 03/13/2019

Humedad	Humedad del Suelo	Temperatura de ambiente	Temperatura del suelo	Temperatura relativa	Irradiacion de luz	Luminicidad	Dia	Hora
51.3	25	18	22.5	26.12	0.01	6	13-03-2019	00:00:01
51.3	25	17.9	22.1	26.19	0.01	6	13-03-2019	00:03:56
51.7	25	18	21.8	26.11	0.01	6	13-03-2019	00:07:51
51	25	18	21.5	26.14	0.01	6	13-03-2019	00:11:46
50.8	25	18.1	21.4	26.08	0.01	6	13-03-2019	00:15:41
51.4	25	18.1	21.2	26.05	0.01	6	13-03-2019	00:19:36
51.4	25	18.1	21.1	26.05	0.01	6	13-03-2019	00:23:31
51.9	25	18	21	26.1	0.01	6	13-03-2019	00:27:26
52.2	25	18	20.8	26.09	0.01	6	13-03-2019	00:31:21

Proyecto Maiz-Platano 2019

Figura 2.21. Base de Datos del proyecto

En el menú se encuentra la opción “*Descargar Nuestra APP*” la cual permite bajar la aplicación diseñada. Se indica paso a paso como obtener la App, primer paso es solicitar a través del correo electrónico y se le proporciona un link para descargar la aplicación. La aplicación funciona para sistemas operativos Android. En la figura 2.22 indica los pasos para descargar la App.

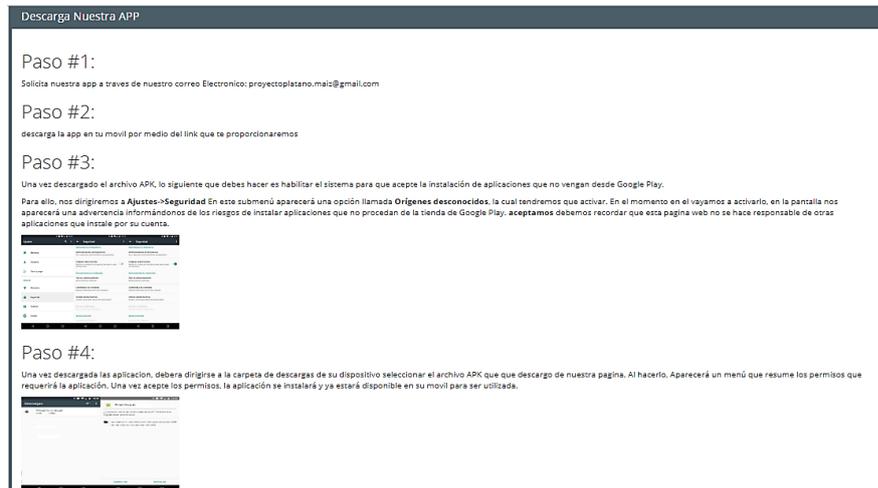


Figura 2.22. Proceso para descargar la App.

Finalmente, la interfaz Web tiene la opción de administrar la página, en donde el icono está ubicado en la parte superior con el nombre de “*Administrar*”, para esto, es necesario crear un usuario (nombre, apellido, correo electrónico, nombre de usuario) y una contraseña. Una vez que el usuario está registrado, es posible ingresar al sistema, de acuerdo con el rol asignado, para administrar y almacenar información. El usuario puede agregar, modificar y eliminar ciertas opciones de la aplicación como se muestra en la figura 2.23.

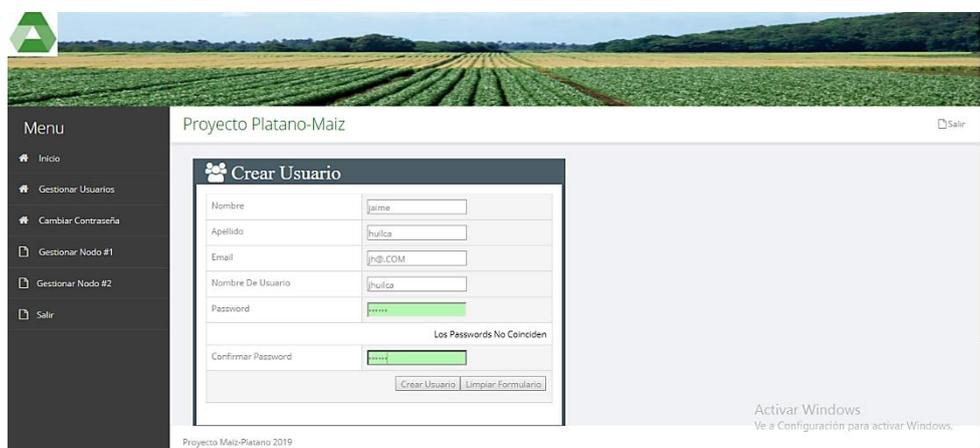


Figura 2.23. Crear una cuenta de administrador.

El sistema de monitoreo también detecta cuando los nodos están fuera de funcionamiento, esto se determina cuando no se recibe ningún dato de las variables climáticas en un tiempo de diez minutos, en este caso el sistema procede a enviar un correo electrónico del usuario con un mensaje “*No está funcionando el Nodo*”, como se observa en la figura 2.24.

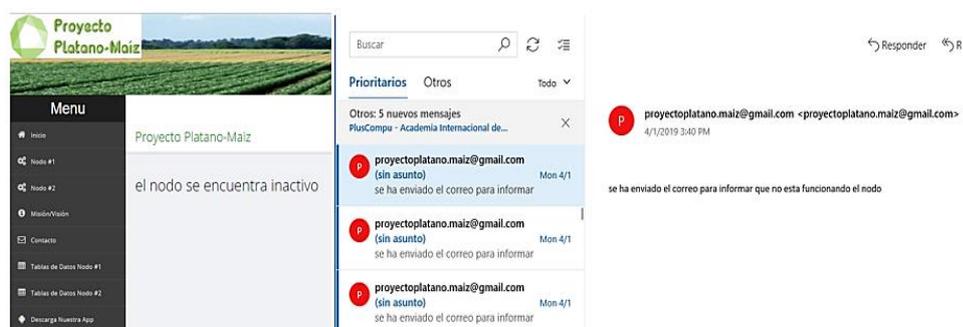


Figura 2.24. Notificación de correo electrónico.

2.3 Implementación del sistema de monitoreo

En esta sección se presenta el proceso de construcción de los módulos de transmisión (nodo router), el módulo de recepción (nodo coordinador). También, indica el proceso de ubicación de los nodos routers 1 y 2 en las plantaciones de maíz y la colocación de sus respectivos paneles solares, así como, la puesta en marcha del sistema de monitoreo.

2.3.1 Construcción de los Módulos de la Red

En esta sección se presenta la construcción de los nodos routers y el nodo coordinador.

Construcción De Los Nodos Router 1 Y 2.

Los módulos de los nodos router 1 y 2 van a estar ubicados en las plantaciones de maíz, estos se van a encargar de adquirir la información de las variables climáticas que influyen en estos cultivos. La información adquirida será enviada hacia la estación base (Nodo Coordinador).

Los módulos del nodo router estarán compuestos por unos sensores encargados de obtener los datos de humedad, temperatura, humedad y temperatura del suelo, radiación y luminosidad. También, contiene un microprocesador en donde se encuentra la programación necesaria para adquirir los datos de los sensores y un dispositivo XBee para la comunicación inalámbrica el cual se va a encargar de enviar

la información hacia la estación de monitoreo. En la figura 2.25 se observa el primer modelo diseñado de los nodos router.



Figura 2.25. Modelos de los módulos diseñado del nodo router.

El problema que presentó el primer modelo es que no contaba con ventilación para la disipación de calor de los dispositivos, la batería ocupaba más espacio, y se determinó que la carcasa de protección no era resistente a la intemperie.

Para el proceso de validación de la operatividad de los equipos en las plantaciones, se consideró pertinente realizar mejoras en los nodos para así garantizar una óptima funcionalidad, protección, durabilidad de componentes como su estado de medición.

Mejoras de los módulos:

El nuevo modelo va a ser resistente a la intemperie, tendrá una ventilación para disipar el calor generado por los dispositivos, también se colocará una protección al sensor de luz para protegerlo de la intemperie. Por lo antes expuesto a los módulos router se realizaron las siguientes mejoras:

- Carcasa de protección con un estándar IP-65 “Ingress Protection” que indica una protección alta al polvo y a la sumersión en líquidos
- El módulo de almacenamiento de energía de 5600mah a uno XIAOMI de 10500mah.
- La disipación de calor con un sistema de ventilación por malla.
- Incorporación de switch de inicio y fin de funcionamiento del nodo.

- Protección de mica plástica de 0,250 micras para el sensor de radiación y luminosidad

El nuevo módulo tiene un switch de encendido y apagado, ventilación para que los dispositivos puedan disipar el calor que se genera evitando que se dañen o comiencen a enviar datos erróneos. Los módulos 1 y 2 están compuestos por los mismos elementos. En la figura 2.26 se observa el módulo final de los routers y sus componentes.



Figura 2.26. Modelo 2 del Módulo del Nodo Router 1 y 2

Módulo De Recepción (Nodo Coordinador)

El módulo es conocido como estación de monitoreo, este se encarga de recibir la trama enviada por los nodos router, la cual es recibida por el dispositivo XBee que se comunica con la red. Este dispositivo contiene un microcontrolador que ayuda a leer los datos que llegan de las variables climáticas y una minicomputadora (raspberry pi 3+) en donde los datos serán almacenados de forma temporal en la microSD. Luego

se envían al gestor de datos MySQL que esta albergado en la nube. En la figura 2.27 se observa el módulo de monitoreo.



Figura 2.27. Módulo de estación de recepción de datos.

2.3.2 Ubicación del Sistema de Monitoreo

El sistema diseñado de monitoreo se instalará en un terreno inclinado, el cual está preparado para la siembra de maíz. Las especificaciones de la sección 2.1.2.1 indican la ubicación de los módulos: nodo router 1, router 2 y el coordinador. Estos módulos van a estar a una distancia, entre ellos, de 50 m y a una distancia de 80m del nodo coordinador. En la figura 2.28 se observa la ubicación de los nodos en el terreno de estudio.

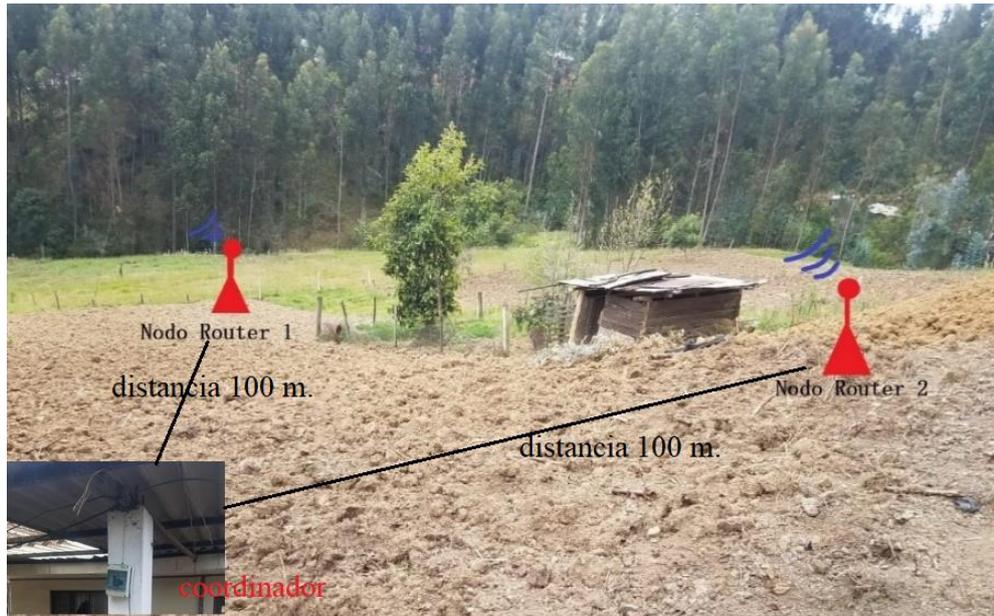


Figura 2.28. Ubicación del Terreno

2.3.3 Instalación de los Módulos en el Cultivo de Maíz

Instalación De Los Paneles Solares

Los módulos de adquisición de datos de las variables climáticas (nodos routers) tienen un sistema de alimentación que está compuesto por un panel solar. Estos van a estar ubicados en unos tubos de acero a una altura de 3.5 m sobre el suelo y se colocaran a una inclinación de 30° para captar la mayor radiación del sol y con ángulo de giro con dirección este-oeste. En los paneles solares no debe existir ningún obstáculo que le genere sombra para aprovechar la máxima radiación. En la figura 2.29 se observa la ubicación del panel solar.



Figura 2.29. Ubicación del Panel Solar

Instalación De Los Módulos De Recepción Y Transmisión

El nodo router 1 está ubicado en la siguiente coordenadas latitud -2.71500 y longitud -78.85549, se encuentra a una altura de 1.50 m., sobre el suelo, en un tubo de acero inoxidable que mide 2.50m. Sobre el tubo se colocará los paneles solares que tiene una estructura llegando a una altura de 3m. Los sensores de humedad y temperatura de suelo son introducidos en el cultivo de maíz, los cables de estos sensores serán cubiertos con un aislante para protegerlos de la intemperie. Además, los módulos deben estar cerrados correctamente para evitar el ingreso de agua y no dañe los dispositivos electrónicos. En la figura 2.30 se observa la instalación del nodo router 1 en el cultivo de maíz.



Figura 2.30. Ubicación e instalación del Nodo Router 1

El nodo router 2 está ubicado en las coordenadas latitud -2.714607 y longitud -78.854420. está a una distancia de 50m. del nodo router 1. En la figura 2.31 se observa la instalación del nodo router 2.



Figura 2.31. Ubicación e instalación del Nodo Router 2

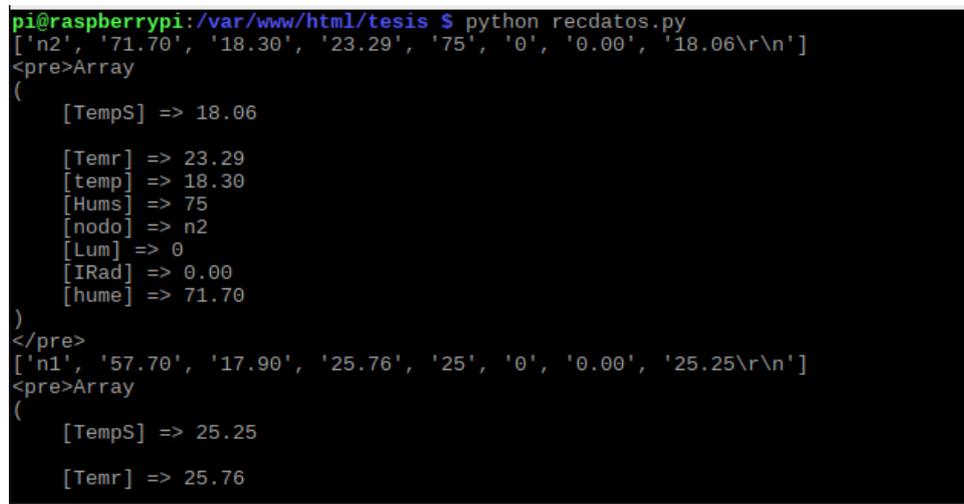
El módulo de estación de monitoreo (nodo coordinador) está ubicado en la latitud -2.713704 y la longitud -78.85523, en la vivienda del agricultor, en donde existe línea de vista con los nodos router y una buena cobertura para la recibir los datos de las variables climáticas sin ninguna pérdida de paquetes. En este lugar existe conexión a internet para poder enviar la información a la Base de Datos MySQL. En la figura 2.32 se observa la ubicación de la estación de monitoreo.



Figura 2.32. Ubicación de la estación de monitoreo

2.3.4 Puesta en Marcha del Sistema de Monitoreo.

El sistema se pone en marcha cuando se inicia el archivo Python recdatos.py en el terminal, este se encarga de leer los datos enviados por los nodos, y a su vez son enviados a unos archivos php que tienen los nombre de nodo_1.php y nodo_2.php, estos van a enviar la información a la Base de Datos de MySQL. EL código de Python también tiene una condición de que en el caso de no leer ningún dato va a enviar una notificación al correo electrónico indicando que los nodos están fuera de funcionamiento. En la figura 2.33 se observa la puesta en marcha del sistema de monitoreo.



```
pi@raspberrypi:~/var/www/html/tesis $ python recdatos.py
['n2', '71.70', '18.30', '23.29', '75', '0', '0.00', '18.06\r\n']
<pre>Array
(
  [TempS] => 18.06
  [Temr] => 23.29
  [temp] => 18.30
  [Hums] => 75
  [nodo] => n2
  [Lum] => 0
  [IRad] => 0.00
  [hume] => 71.70
)
</pre>
['n1', '57.70', '17.90', '25.76', '25', '0', '0.00', '25.25\r\n']
<pre>Array
(
  [TempS] => 25.25
  [Temr] => 25.76
```

Figura 2.33. Programa de Python de lectura y envío de Datos al servidor

Sitio Web Del Proyecto Plátano-Maíz

La interfaz web se publicó en internet con la ayuda de un servidor web llamado Umbler, el cual permite cargar todos los archivos que conforman la interfaz web, después se le asignó el siguiente dominio <http://proyectoplatano-maiz-com-ec.umbler.net/?open=main1> con el cual se puede acceder a la interfaz gráfica, desde cualquier navegador, en cualquier lugar con conexión a Internet . En la figura 2.34 se visualiza la interfaz gráfica en marcha.

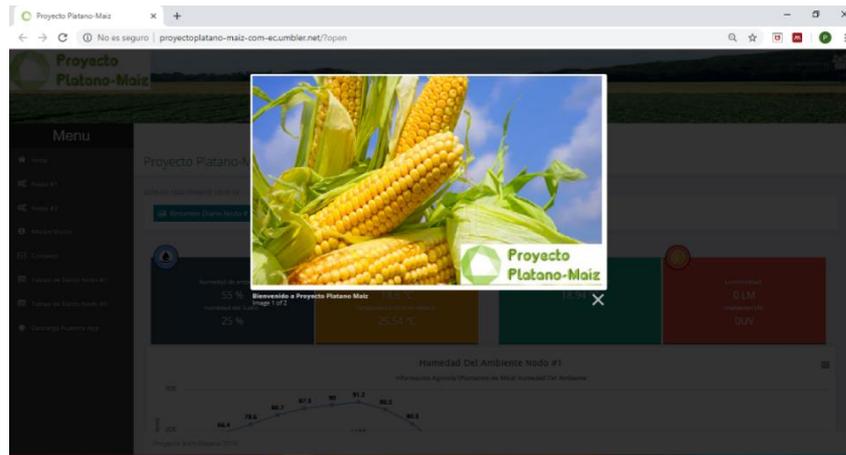


Figura 2.34. Publicación en Internet de Pagina Web

CAPÍTULO 3 : ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presenta los resultados obtenidos del diseño e implementación del sistema de monitoreo, se realiza el análisis de las mediciones de las variables climáticas, se observa el comportamiento durante el día, semana, mes y año de las variables climáticas. También, se determina la tendencia que tiene cada parámetro en los cultivos de maíz. Los resultados plasmados en este capítulo corresponden al nodo 1. Los correspondientes al nodo dos, cuyos resultados y análisis tienen sigue el mismo comportamiento que el nodo 1, se encuentran en el Apéndice 3.

3.1 Perfil de Enlace

La simulación de radio enlace se realizó en radio Mobile este programa necesita la información de la ubicación de los nodos routers y coordinador, los parámetros de los dispositivos XBee como: potencia, la sensibilidad de receptor, características de la antena y perdidas. El resultado de la simulación proporciona: la distancia que existe entre el nodo coordinador y router, el ángulo azimut el cual indica el punto que debemos colocar la antena, el ángulo de inclinación debe tener la antena, la ganancia en el coordinador y receptor y la pérdida de propagación en el enlace de radio. En la figura 3.1 se observa la información obtenida del radio enlace.

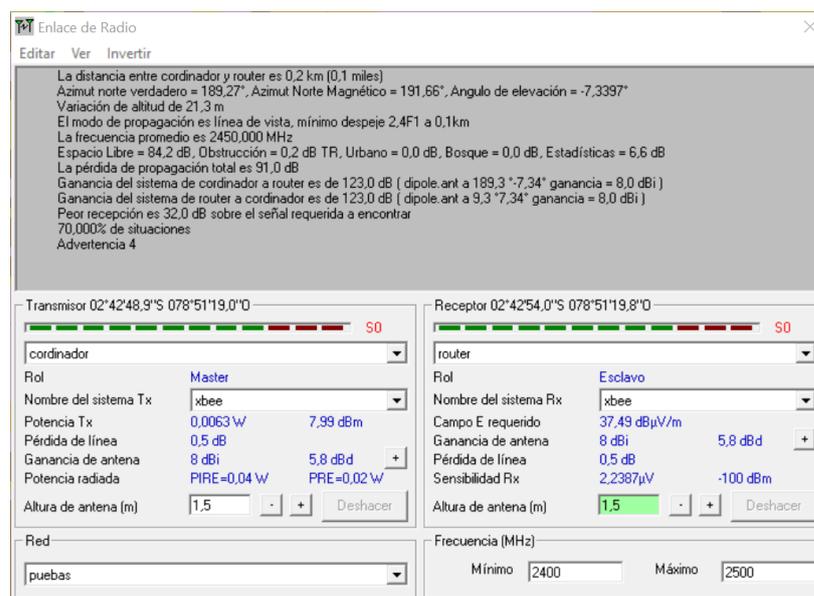


Figura 3.1. Enlace de Radio

En la figura 3.2 se observa los resultados de simulador para establecer el enlace de radio entre el nodo coordinador y router. Se puede ver que la zona de Fresnel está totalmente despejada y existe línea de vista del enlace. Adicionalmente, muestra los parámetros de resultados como: distancia que hay del enlace entre el nodo router y coordinador, espacio libre, posibles obstrucciones, pérdida de propagación, ganancia del sistema.

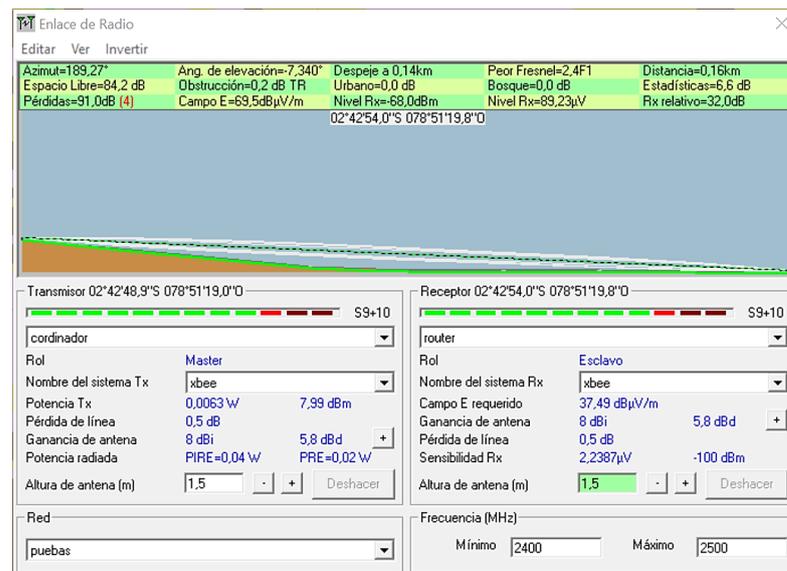


Figura 3.2. Perfil de Radio Enlace

3.2 Mediciones de enlace de transmisión dentro de la plantación de maíz

Para realiza las mediciones de radiofrecuencia y la calidad de enlace, se utilizó la herramienta del software XCTU en donde se selecciona la opción de rango test. En esta opción selecciona el dispositivo local y el remoto con el cual se va a realizar la prueba de rango. En la figura 3.3 se observa el análisis de las pruebas de transmisión.

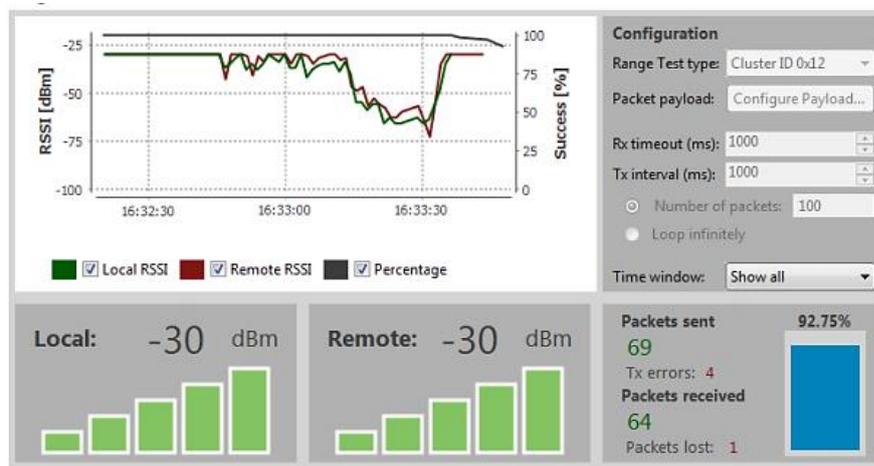


Figura 3.3. Pruebas de Transmisión en Range Test

Las mediciones de enlace de transmisión se realizaron a diferentes distancias, en donde en las grafica que se obtienen muestran los valores de RSSI, lo cual indica la escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por el dispositivo. También muestra los paquetes que son enviados y los recibidos, así como el nivel de cobertura: Excelente (0 a -76 dBm), muy Buena (-89 dBm a -77dBm) Buena (-97dBm a -90 dBm) y Baja (-103 dBm a -98dBm).

La tabla 3-1 muestra las mediciones que se realizaron. Se puede visualizar que desde la distancia de 10 hasta 20 metros existe Excelente Cobertura por que todos los paquetes transmitidos llegan al receptor y no existe perdidas de paquetes. Al aumentar la distancia a 30 metros la cobertura disminuye, se transmite 65 paquetes y llegan 64, por lo que existe perdida de paquetes, esto es debido a las irregularidades del terreno.

En la distancia de 40 hasta 80 metros la cobertura es muy buena porque los paquetes llegan completos. En la última medición que se realizó a una distancia de 130 metros se observa que existe una baja potencia ya que existe interferencia de árboles la cual provoca pérdidas de paquetes y el indicador de potencia es de -90 dBm lo que quiere decir que existe una baja cobertura.

Tabla 3-1 Mediciones de Enlace de Transmisión

Distancia	Paquetes Enviados	Paquetes Recibidos	RSSI	Cobertura
10	7	7	-64 dBm	Excelente Cobertura
20	38	38	-76 dBm	Excelente Cobertura
30	65	64	-81 dBm	Buena Cobertura
40	72	63	-78 dBm	Muy Buena Cobertura
50	20	20	-84	Muy Buena Cobertura
60	45	45	-87 dBm	Muy Buena Cobertura
80	61	61	-87 dBm	Muy Buena Cobertura
100	83	81	-87 dBm	Buena Cobertura
130	52	44	-98 dBm	Baja Cobertura

3.3 Mediciones de las variables climáticas del maíz

Con el sistema de monitoreo en funcionamiento se obtiene los datos adquiridos por los nodos routers y visualizados a través de una interfaz gráfica que permite validar el funcionamiento del sistema. Los datos permiten visualizar el comportamiento de las variables climáticas que influyen en el desarrollo de las plantas de maíz: temperatura

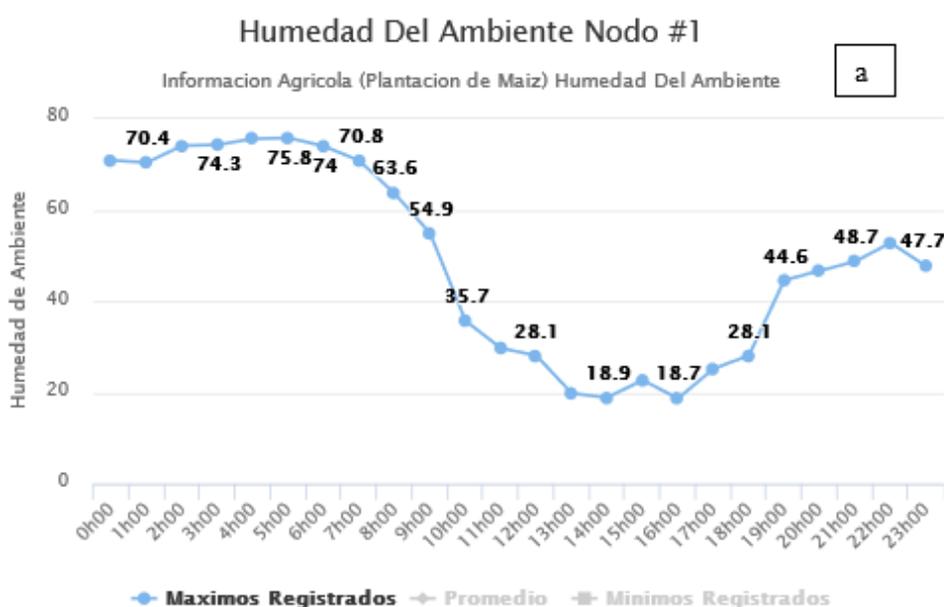
del ambiente, humedad del ambiente, temperatura suelo, humedad del suelo, radiación y luminosidad.

En los resultados se visualizará graficas de los máximos, mínimos y promedios de las variables antes mencionadas, del día, semana, mes y año. En las gráficas del mes los días 21, 22 y 23 marzo no existen datos por que se realizó pruebas de notificaciones de los nodos routers que están funcionando o están apagados.

3.3.1 Medición de la Humedad del Ambiente.

La medición de la humedad del ambiente es realizada durante las 24 horas del día cada 5 minutos este parámetro debe estar en un rango de 50-80% para un correcto desarrollo de la planta.

En la figura 3.4 se observa la gráfica del seguimiento de la humedad del ambiente durante el día 7 de marzo. En los intervalos de 11:00h hasta 16:00h este parámetro está por debajo del 50% esto puede ocasionar que no exista el óptimo desarrollo de la planta de maíz. En la figura 3.4-(a) se observa los máximos registrados entre las 0:00h y las 8:00h, después desde las 20:00h en adelante la temperatura baja afectando en el desarrollo de la planta. En la figura 3.4-(b) se observa los promedios registrados de cada hora en donde se observa que la humedad es óptima entre las 0:00h y las 8:00h. En la figura 3.4-(c) se muestran los datos mínimos registrados en un día, el comportamiento es similar al obtenido en las figuras 3.4-(a) y 3.4-(b).



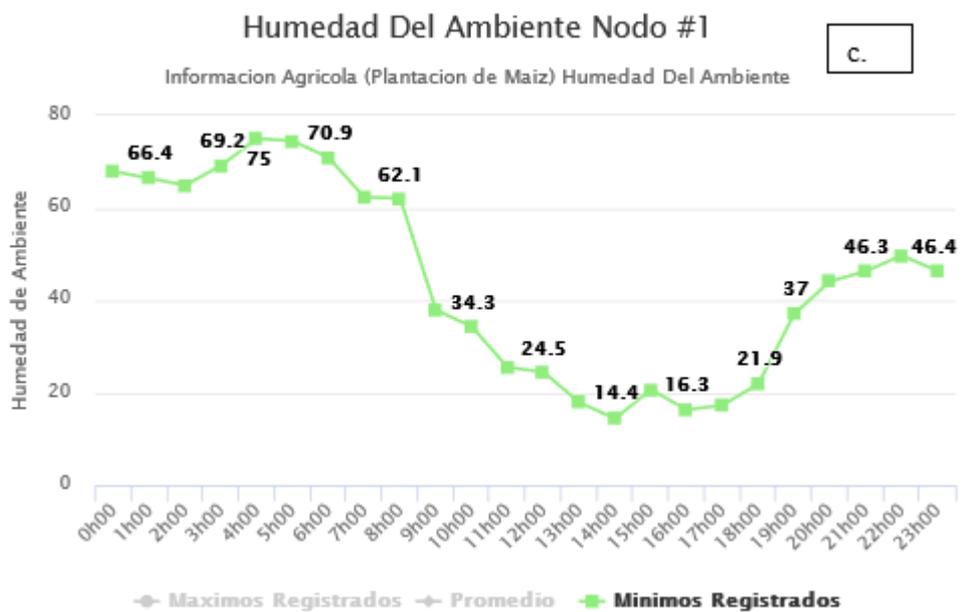
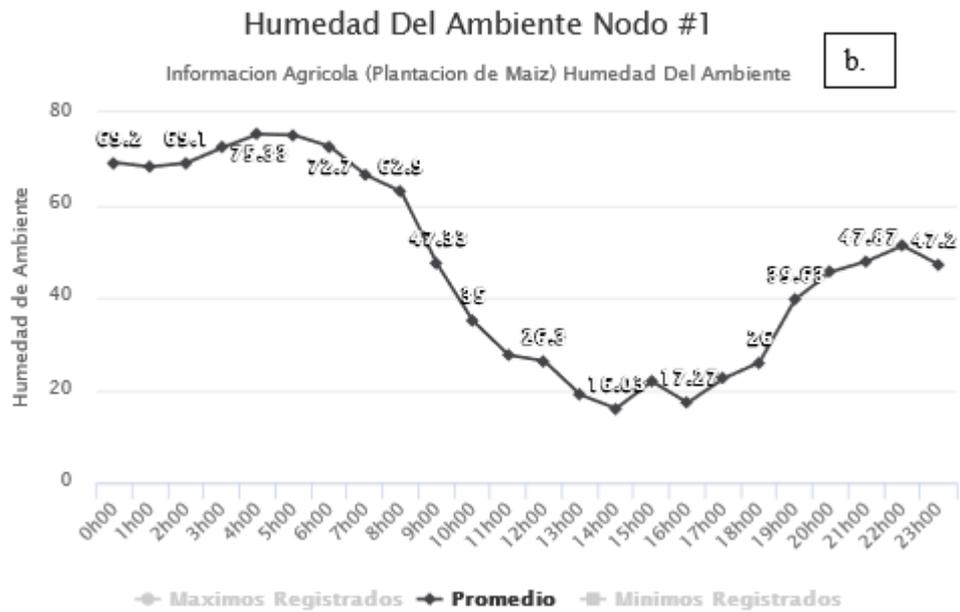
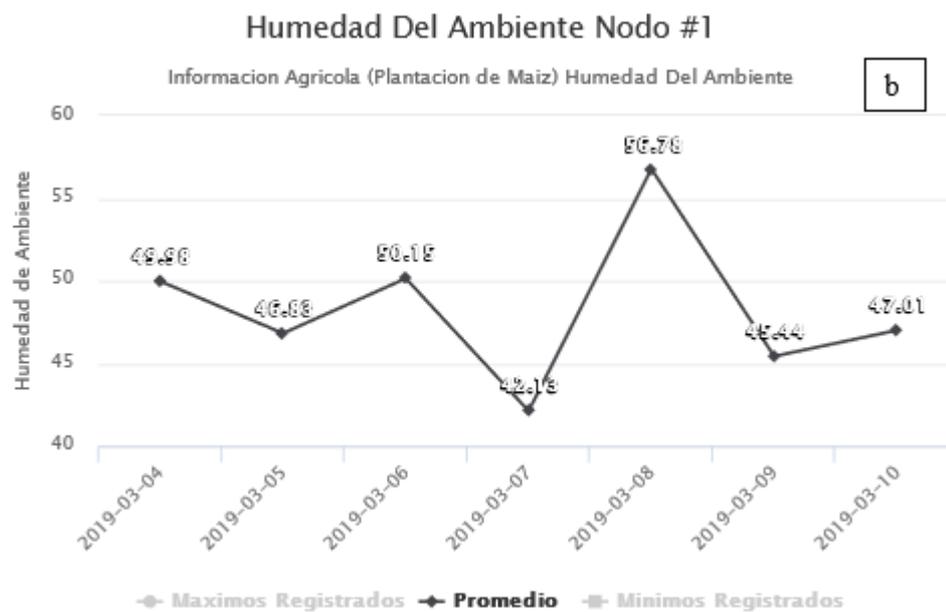
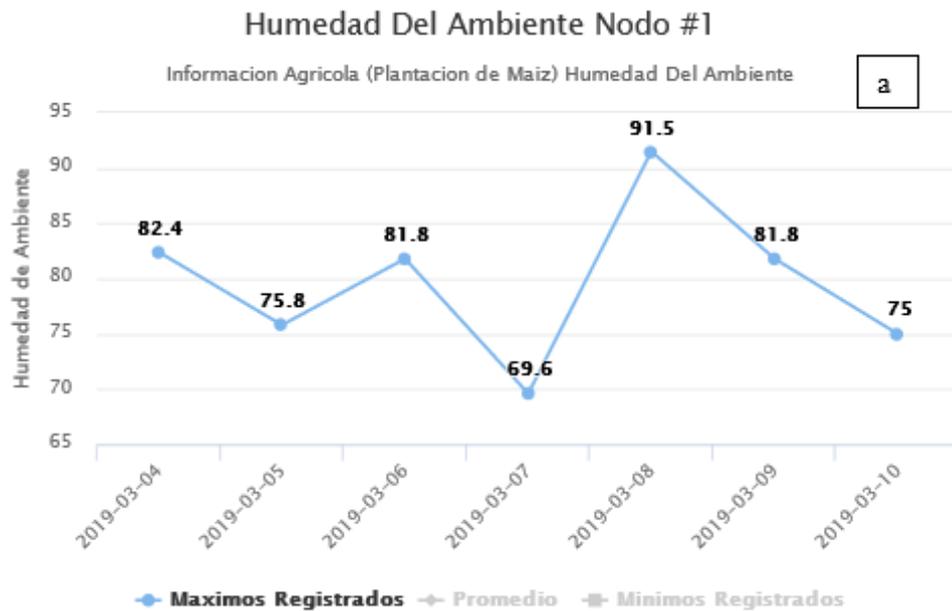


Figura 3.4. Resultado de la Humedad del ambiente en un día: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.

La base de datos de las mediciones permite almacenar información de varios días y se puede procesar la gráfica del seguimiento de la humedad del ambiente de una semana, cuyos rangos óptimos se encuentran entre 50 y 80%. En la figura 3.5 se observan los resultados de una semana de este parámetro. La figura 3.5-(a) muestra los máximos registrados en donde los días 5, 7 y 10 de marzo están dentro de los parámetros, y el resto de los días se encuentran fuera del rango óptimo afectando la planta de maíz. En la figura 3.5-(b) se observa el promedio registrado en donde se verifica que cinco días

de la semana la humedad del ambiente se mantuvo en los rangos óptimos (50-80%) a diferencia de los días 6 y 8 de marzo que los valores se encuentran fuera del rango óptimo. En la figura 3.5-(c) indica que la humedad del ambiente durante la semana está por debajo de los 50% lo cual afecta directamente en el desarrollo del maíz.



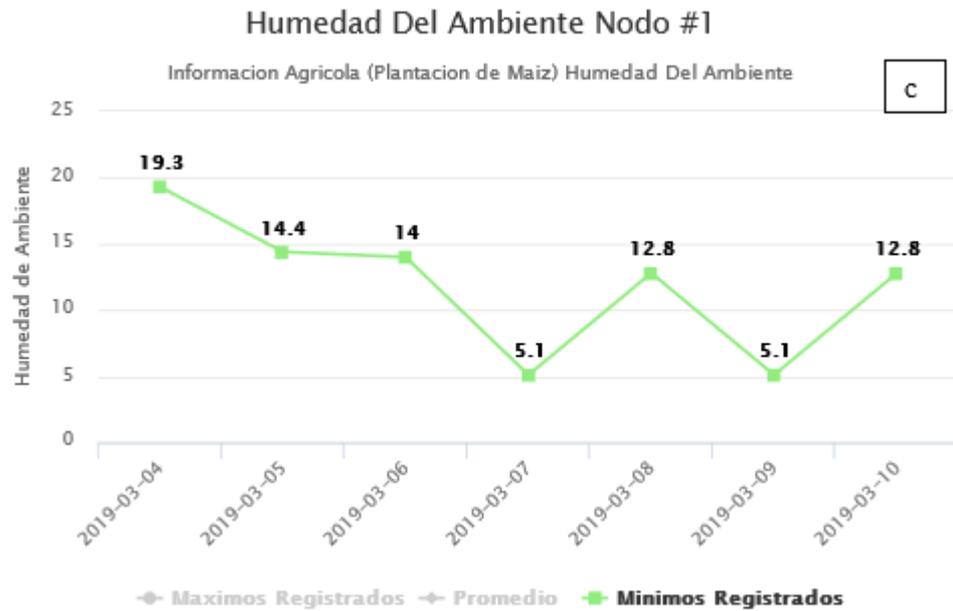
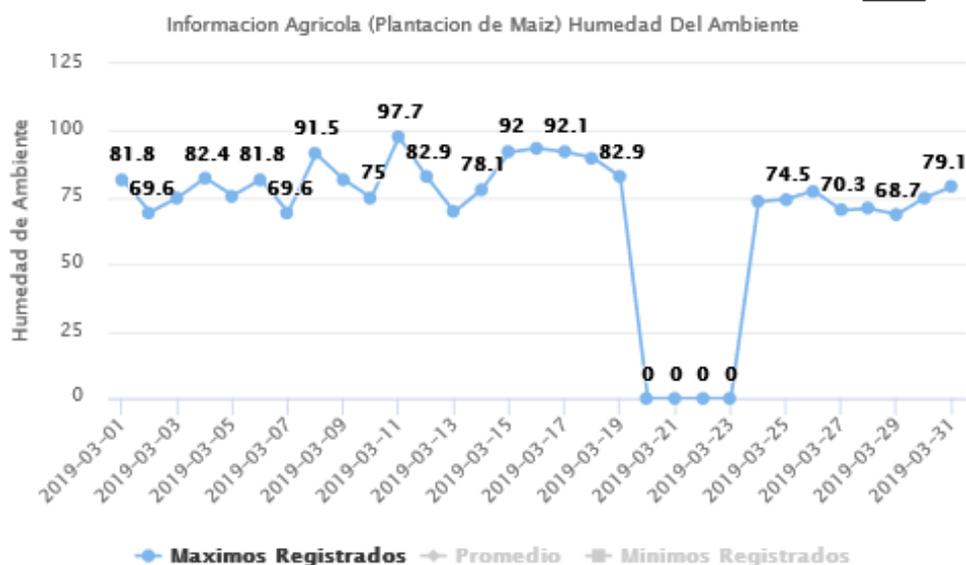


Figura 3.5. Resultado de la Humedad del ambiente en una semana: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados

En la figura 3.6 se observa que la humedad del ambiente de un mes de medición. Los días 21, 22 y 23 marzo no existen mediciones por que se estaban realizando pruebas de funcionamiento de los nodos routers. En la figura 3.6-(a) se observan los máximos registrados en donde se analiza que entre el 1 y el 19 de marzo hay valores de humedad superiores al 80% y desde el día 24 hasta el 31 de marzo la humedad del ambiente está dentro de los parámetros óptimo. En la figura 3.6-(b) se observa el promedio registrado mensual, se puede verificar que los valores de la humedad se encuentran entre los valores óptimos para el buen desarrollo del cultivo de maíz. En la figura 3.6-(c) se observa los mínimos registrados que indican que la humedad del suelo está por debajo de 50% esto si ocasiona que el crecimiento de la planta se vea afectado.

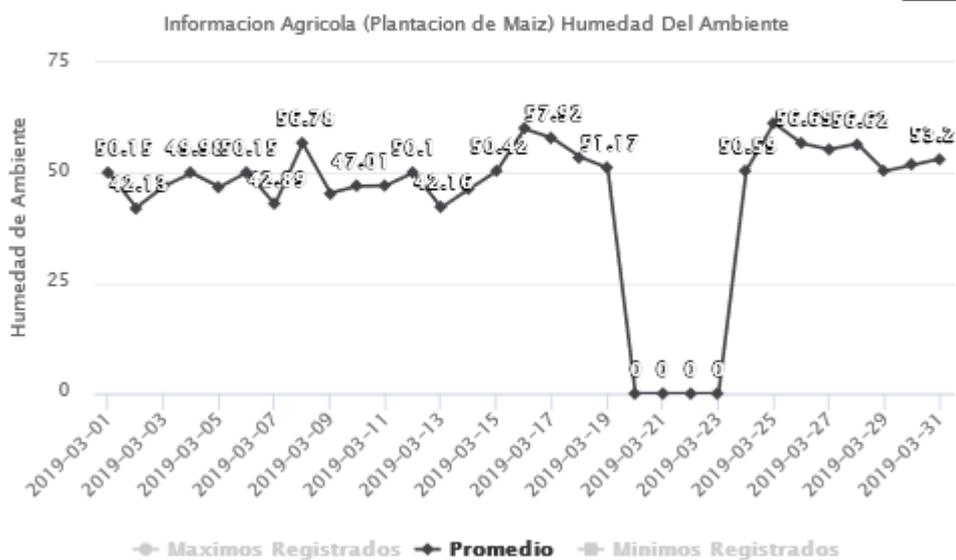
Humedad Del Ambiente Nodo #1

a



Humedad Del Ambiente Nodo #1

b



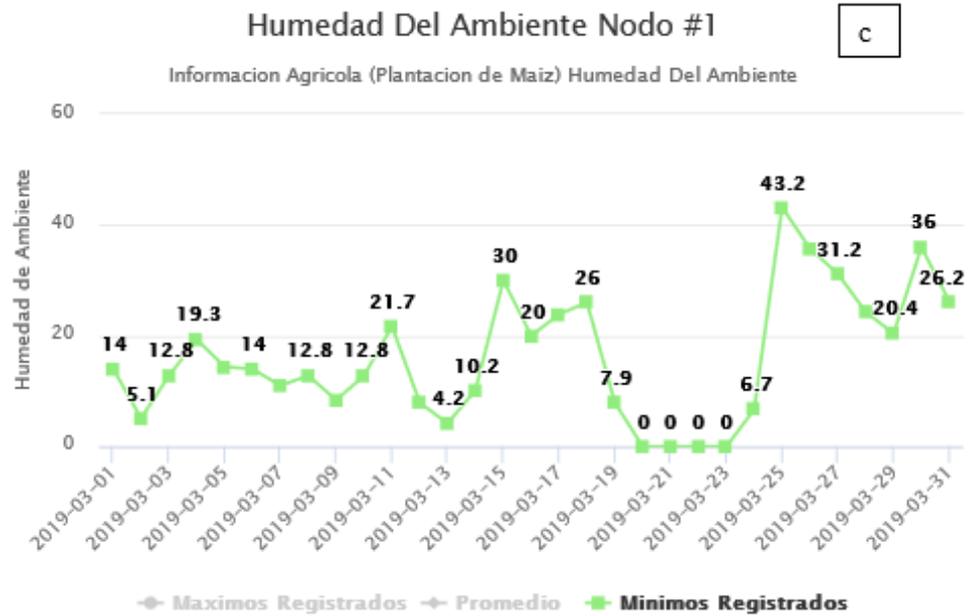


Figura 3.6. Resultado de la Humedad del ambiente en un Mes: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.

En la figura 3.7 se observa los datos adquiridos durante un año, pero como la información recolectada es de 2 meses no aporta con mucha información por lo que para los siguientes parámetros no se va a tomar en cuenta.

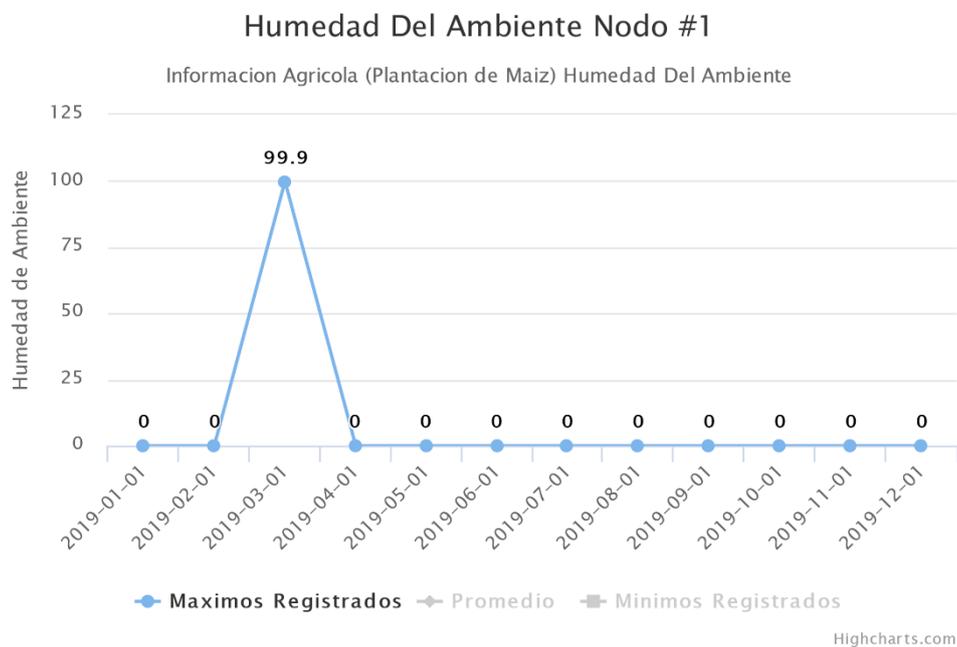
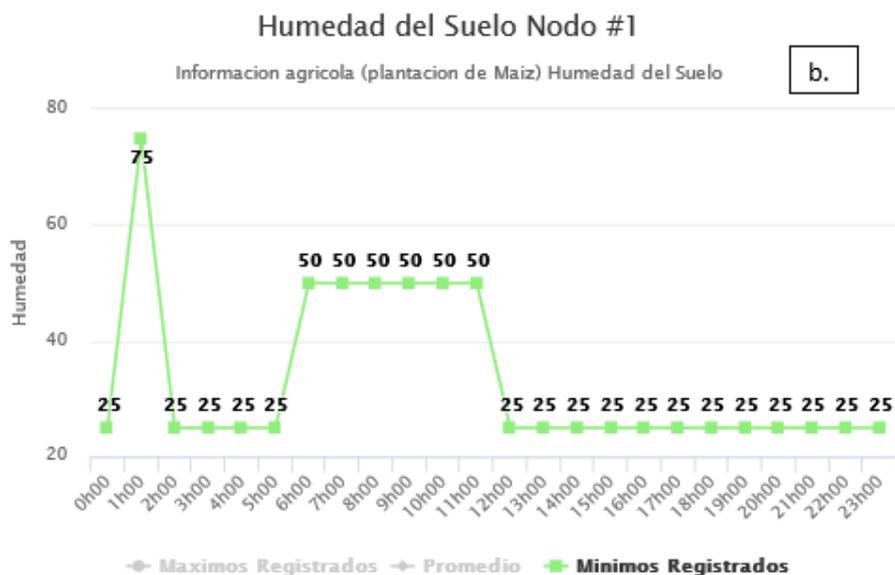
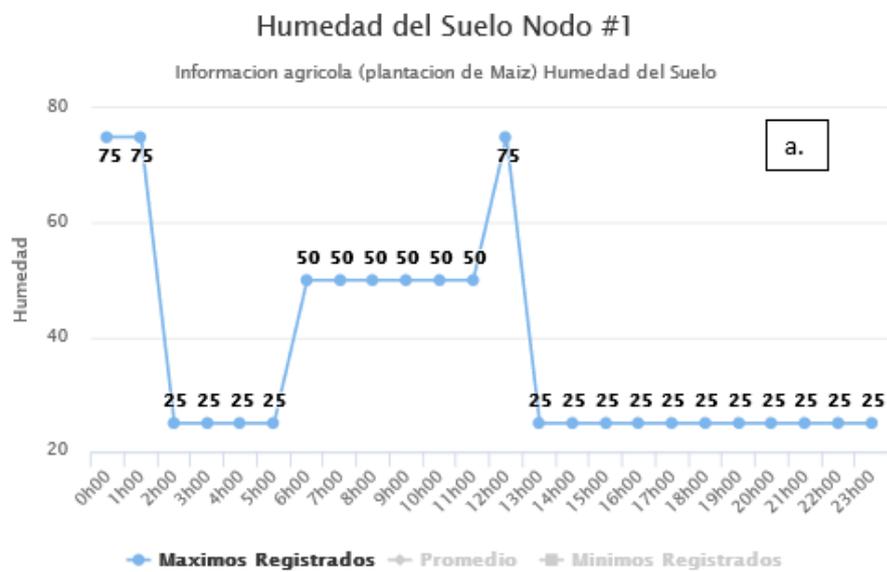


Figura 3.7. Medición de la Humedad del Ambiente del año 2019.

3.3.2 Medición de la Humedad del Suelo

En la figura 3.8 se observan los valores de la Humedad del suelo, cuyos valores óptimos para el desarrollo de la planta de maíz está entre 25 y 60 %. En la figura 3.8-(a) se observa los máximos registrados durante el día 11 de marzo, indica que la humedad del suelo es óptima para el desarrollo de las plantaciones de maíz, y se ve que entre las 0:00h y las 2:00h existe pico de humedad es debido a que existió una llovizna y el resto de las horas del día están dentro del rango de valores óptimo. En la figura 3.8-(b) nos presenta los mínimos registrados y en la figura 3.8-(c) nos presenta los promedios, estas figuras presentan el mismo comportamiento que la figura 3.8-(a).



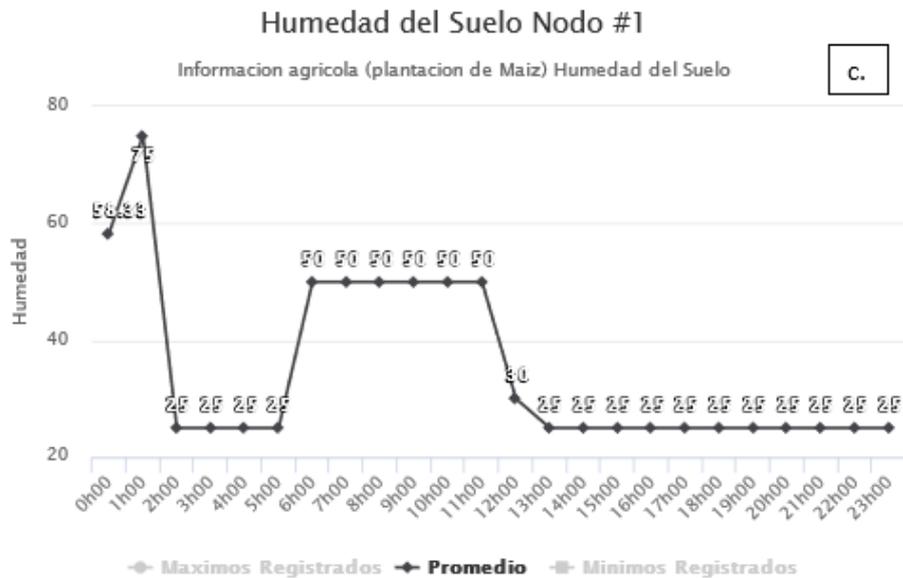
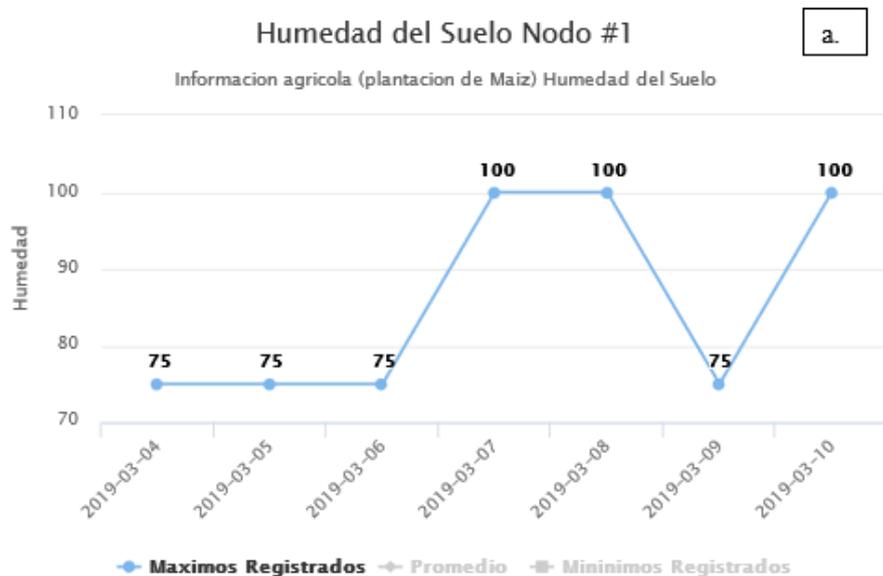


Figura 3.8. Medición de la Humedad del Suelo en un día: a. máximos registrados, b. mínimos registrados y promedio

A continuación, se realizará el análisis de los datos obtenidos durante la semana. En la figura 3.9-(a) se observa los máximos registrados en donde muestra que la humedad es muy alta que esta sobre el rango (25% - 60%) que necesita el maíz, porque toda esta semana existió presencia de lluvia y la humedad del suelo se elevó entre 75%-100%. En la figura 3.9-(b) se observa el promedio registrado que indica que existe una buena humedad del suelo, a excepción del 8 de marzo que tiene un valor de humedad de 69.4%, causado por las lluvias de ese día. En la figura 3.9-(c) se observa los mínimos registrados, donde indica que tiene el valor del 25% siendo este el valor óptimo para los cultivos de maíz.



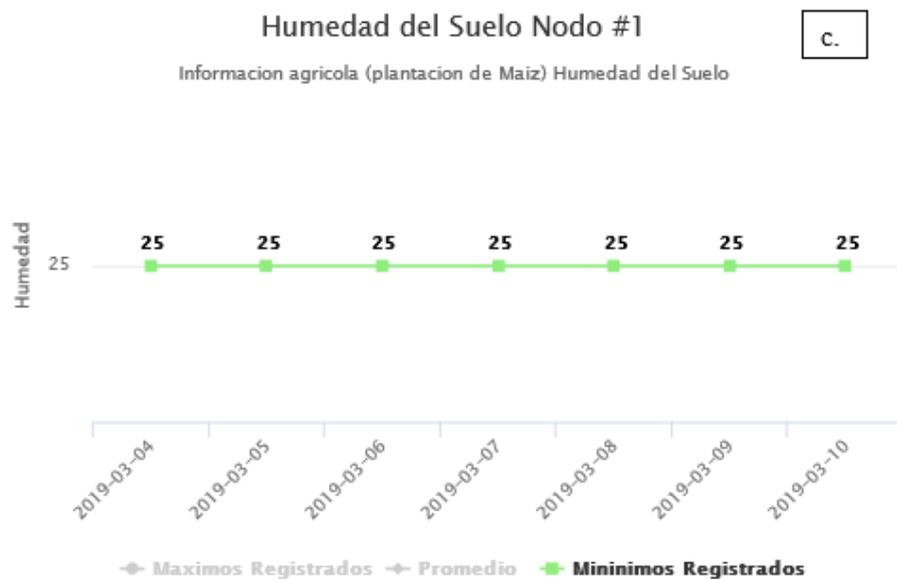
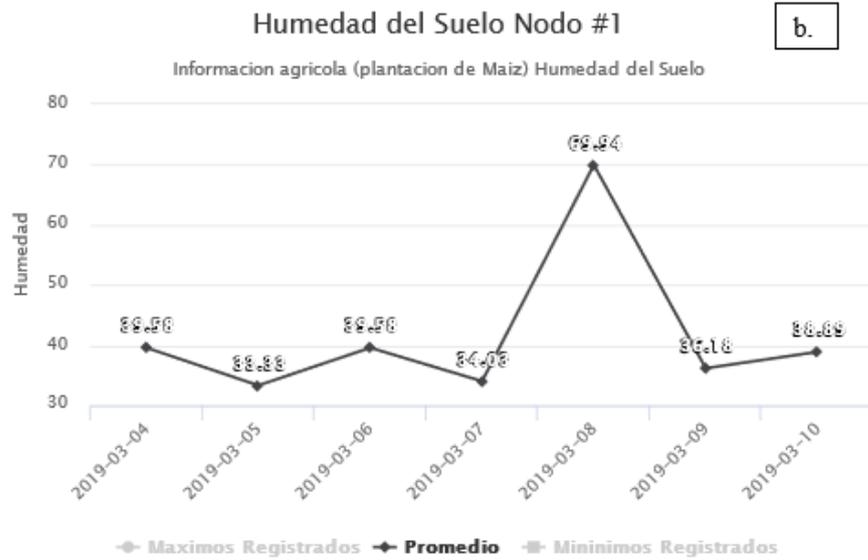
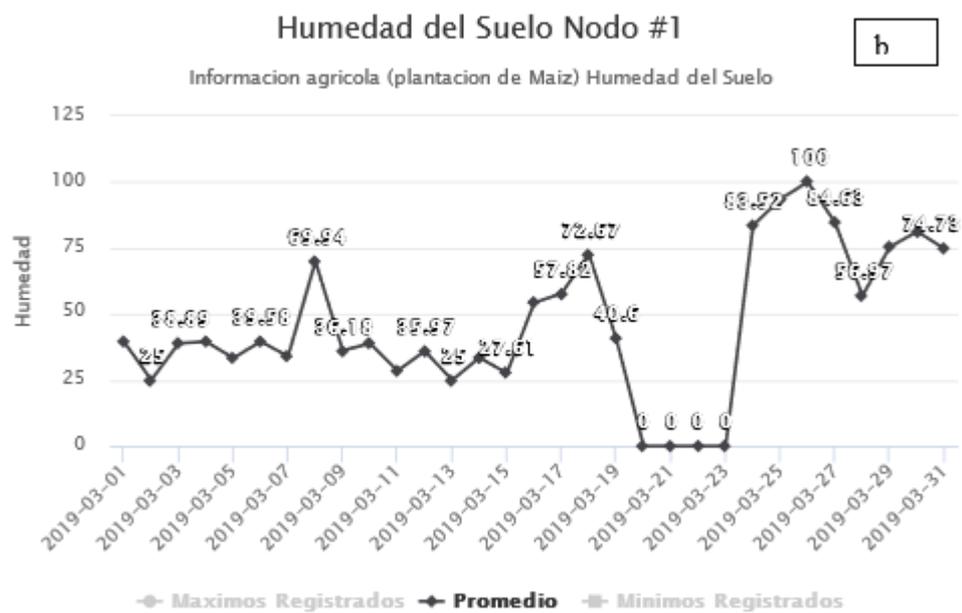


Figura 3.9. Medición de la Humedad del Suelo en una Semana a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.

A continuación, se obtuvieron las mediciones para el mes de marzo de la humedad del suelo. En la figura 3.10-(a) se observa los máximos registrados de la humedad del suelo que esta entre los 75% - 100% es muy alta esto puede ocasionar que no exista una buena oxigenación esta situación puede ocasionar cambios de color (amarillento) de las hojas. En la figura 3.10-(b) tenemos el promedio de los registros en donde se observa que la humedad del suelo es adecuada para los cultivos de maíz, pero desde el 23 de marzo la humedad aumenta esto es ocasiona por fuertes lluvias. En la figura 3.10-(c) tenemos los mínimos registrados la cual indica que permanece constante

desde 1 hasta el 19 de marzo que está dentro de los parámetros óptimos, pero desde el 23 de marzo se observa que la humedad aumenta.



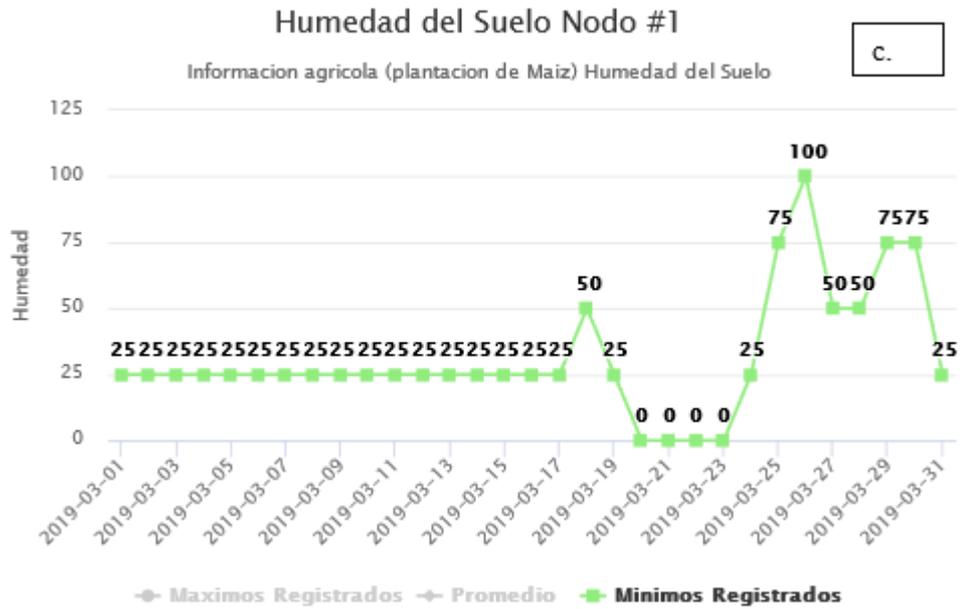


Figura 3.10. Medición de la Humedad del Suelo en el Mes: a. máximos registrados b. promedio y c. mínimos registrados.

3.3.3 Medición de la Luminosidad

La luminosidad tiene valores apreciables desde las 6:00h hasta las 18:00h en ese rango de horas existe la luz solar. En la figura 3.11 se puede observar los datos adquiridos durante el día 7 de marzo, en la figura 3.11-(a) se aprecia la máxima luminosidad entre las 10:00h y 14:00h la cual es la óptima porque es mayor a 1200 lúmenes. En la figura 3.11-(b) y 3.11-(c) se observa los promedios y mínimos registrados, indican que hay una alta luminosidad desde las 12:00h hasta las 16:00h siendo este un parámetro óptimo el cual favorece al crecimiento de del cultivo.

Luminosidad Nodo #1

a.



Luminosidad Nodo #1

b.

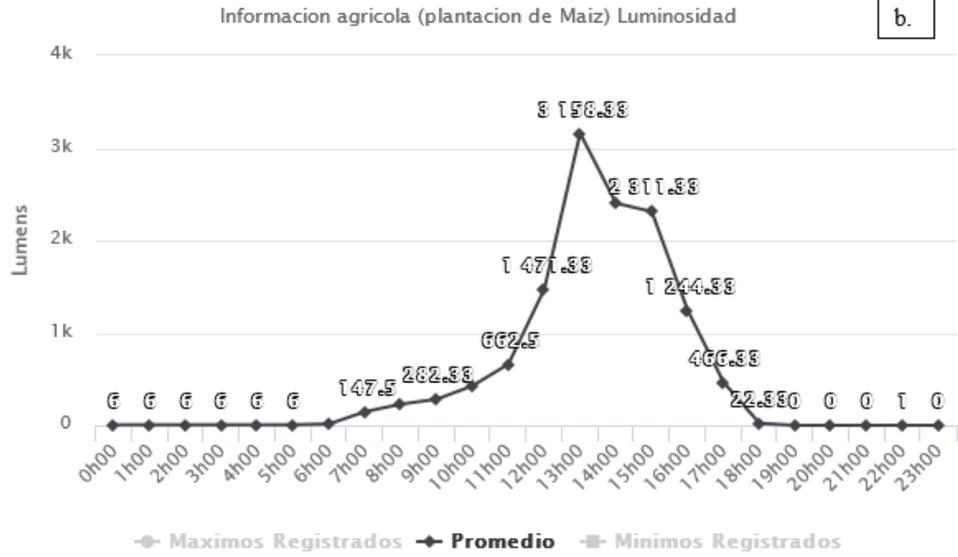
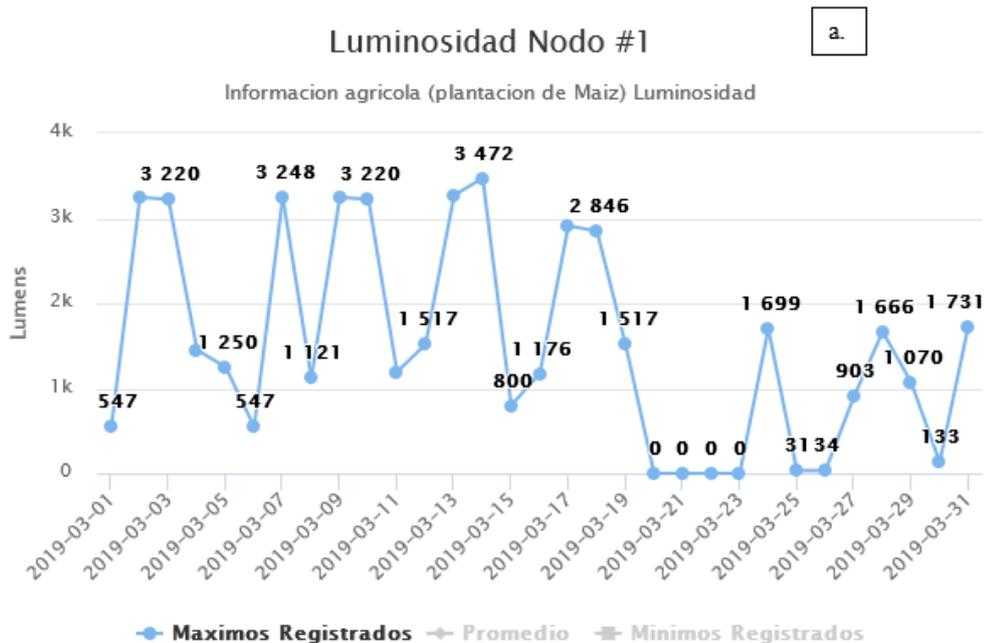




Figura 3.11. Medición de la Luminosidad en un día: a. máximos registrados, b. promedio registrados y c. mínimos registrados.

En la figura 3.12-(a) se obtienen los máximos registrados del mes de marzo, donde se observa que existe una alta luminosidad es superior a 1200 lúmenes la cual es adecuada para el desarrollo del cultivo, pero desde el día 23 de marzo la luminosidad disminuye esto es por la aparición de nubes de lluvia. En la figura 3.12-(b) y (c) se observa que la luminosidad es baja esto puede ocasionar que no exista crecimiento de la planta.



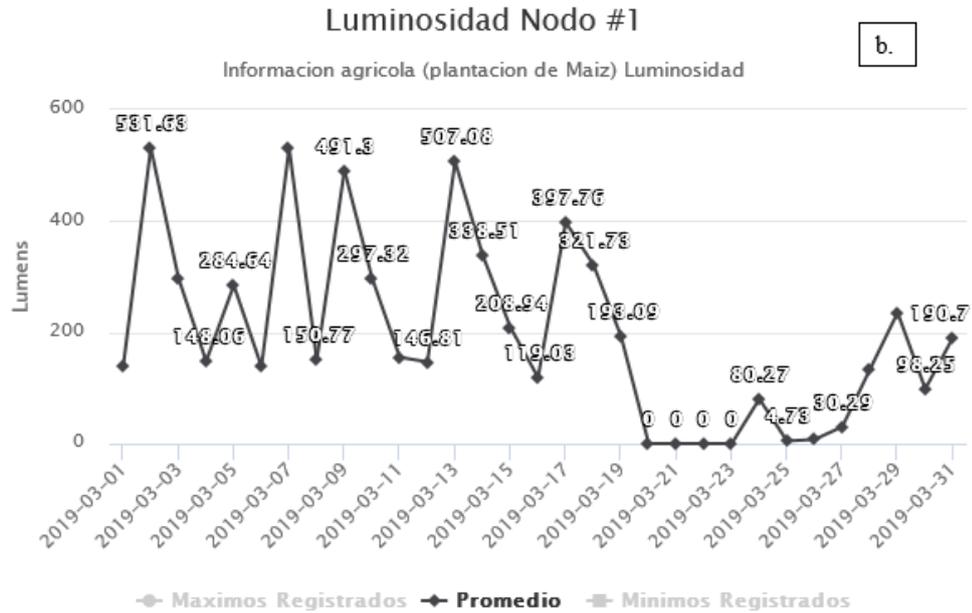
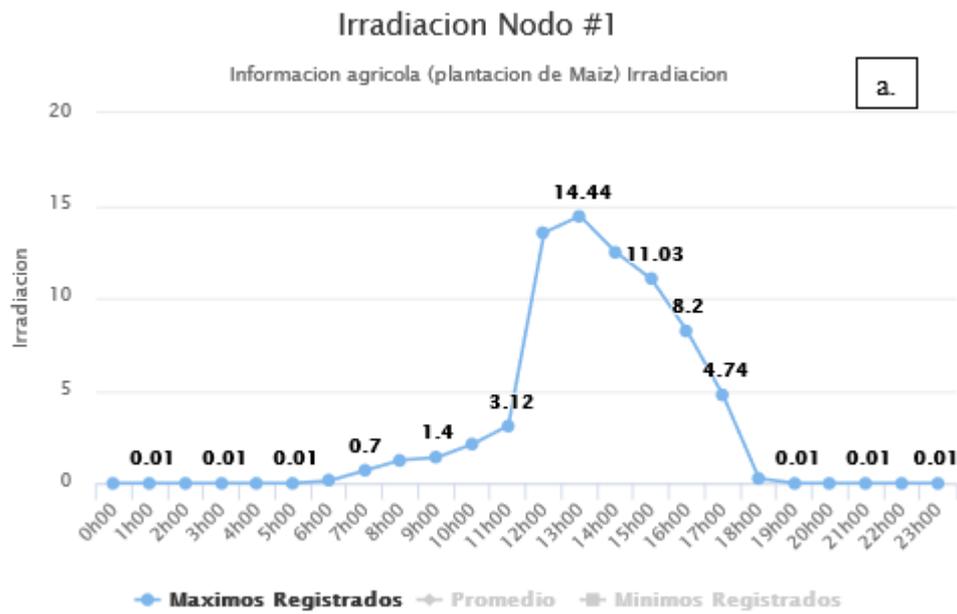


Figura 3.12. Medición de la Luminosidad de un Mes: a. Máximo registrado, b. Promedio y c. Mínimos Registrados

3.3.4 Medición de Radiación Solar

En la figura 3.13 se visualiza los datos adquiridos durante el día 7 de marzo, los valores óptimos para la radiación son mayores o igual a 8 MJ/m²/día. En la figura 3.13-(a) se observa lo máximos registros del día 7 de marzo, el cual nos indica que la mayor radiación es entre las 11:00h hasta las 15:00h, pero donde existe la mayor radiación es a la 13:00h. En la figura 3.13-(b) se observa el promedio de registro y en la figura 3.13-

(c) se observa los mínimos obtenido de cada hora, las tres gráficas tienen el mismo comportamiento.



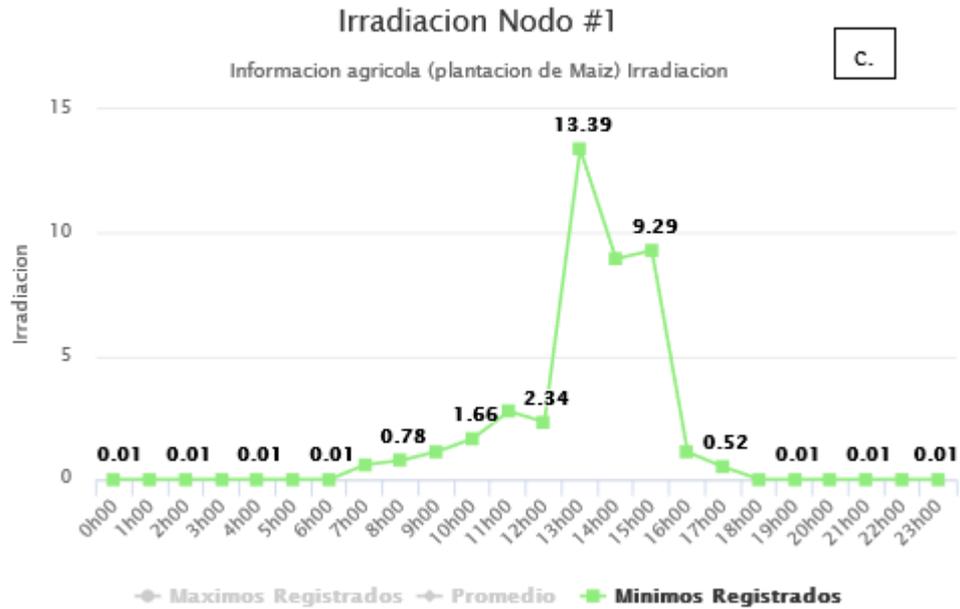
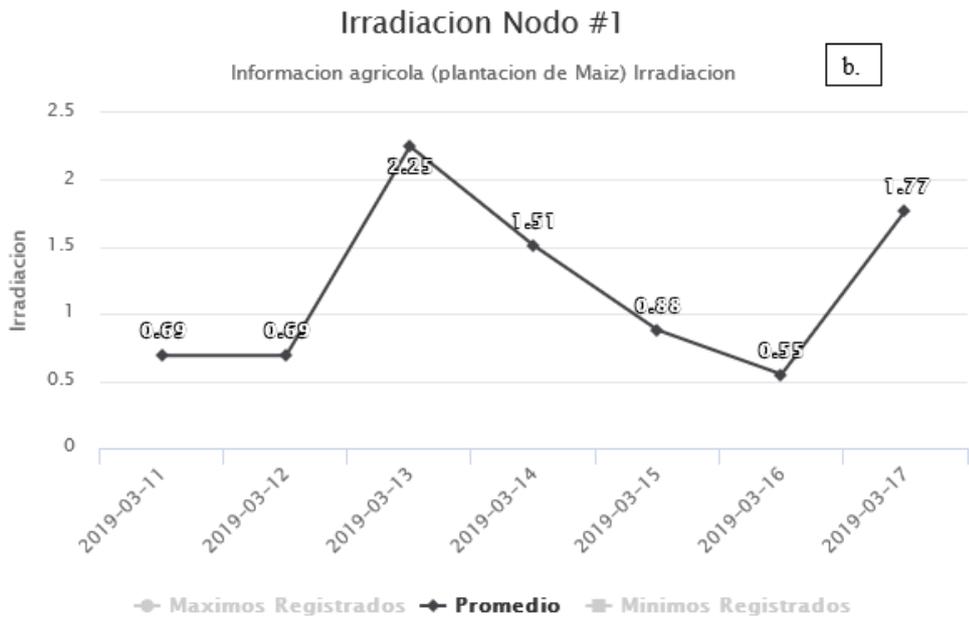
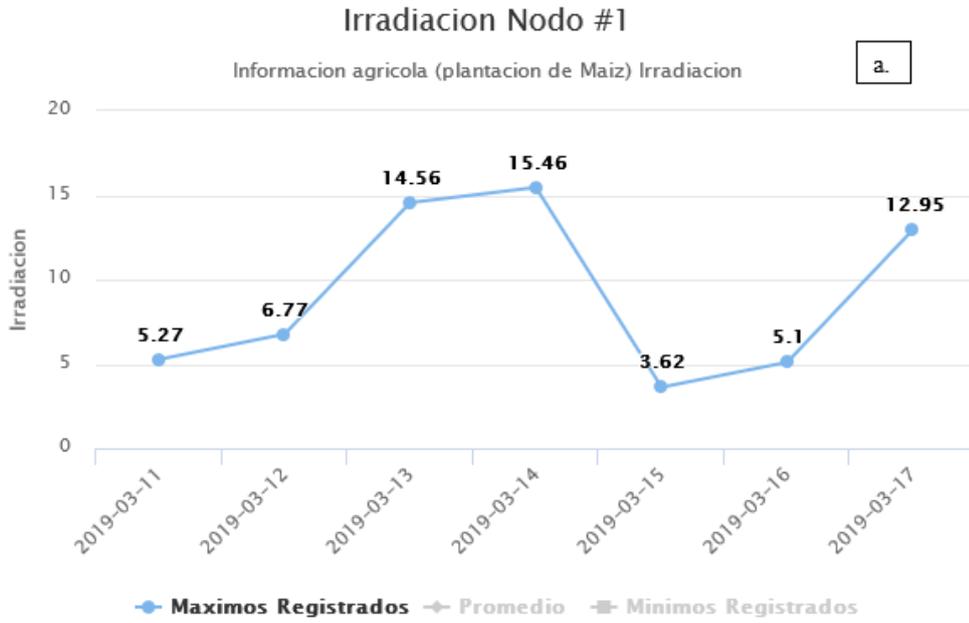


Figura 3.13. Medición de Irradiación de un día: a. máxima registros, b. promedio y c. mínimos registros.

En la figura 3.14 se visualiza los datos obtenido de una semana de marzo, y los valores óptimos de la radiación deben ser mayores o igual a 8 MJ/m²/día. En la figura 3.14-(a) se observa que existe alta radiación en los días 12 y 14 de marzo siendo la óptima para las etapas de desarrollo del maíz, este factor es importante para el proceso de la fotosíntesis. En la figura 3.14-(b). se observa el promedio de los registros nos indica que la radiación está por debajo del valor óptimo. En la figura 3.14-(c). se observa los mínimos registrados nos indica que son valores adquiridos durante la noche por lo cual son muy bajos.



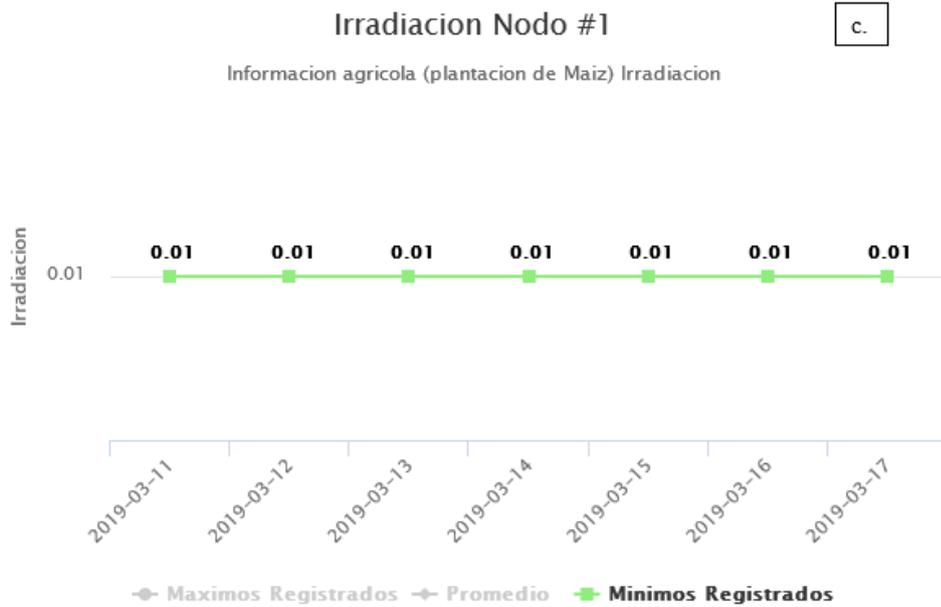
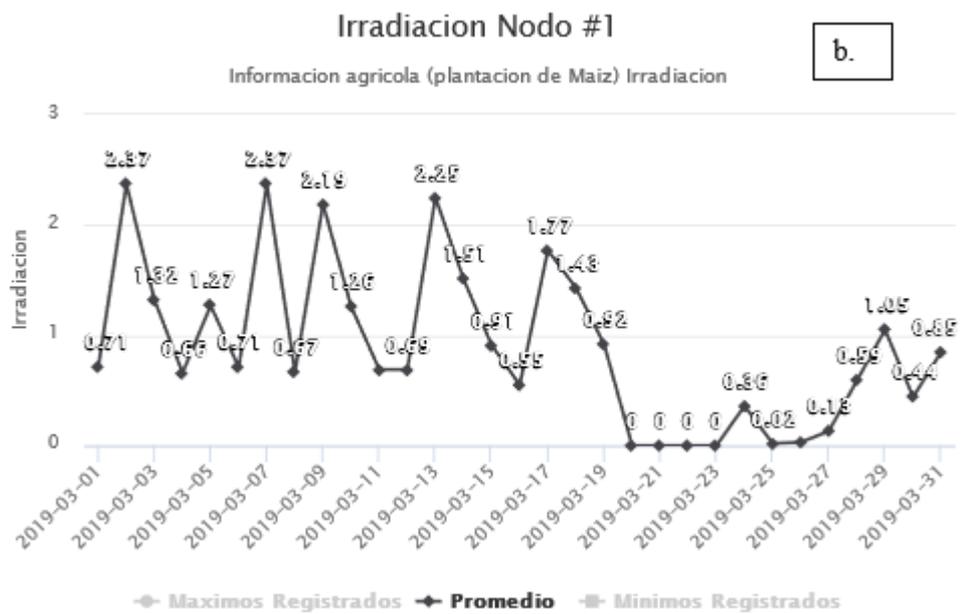
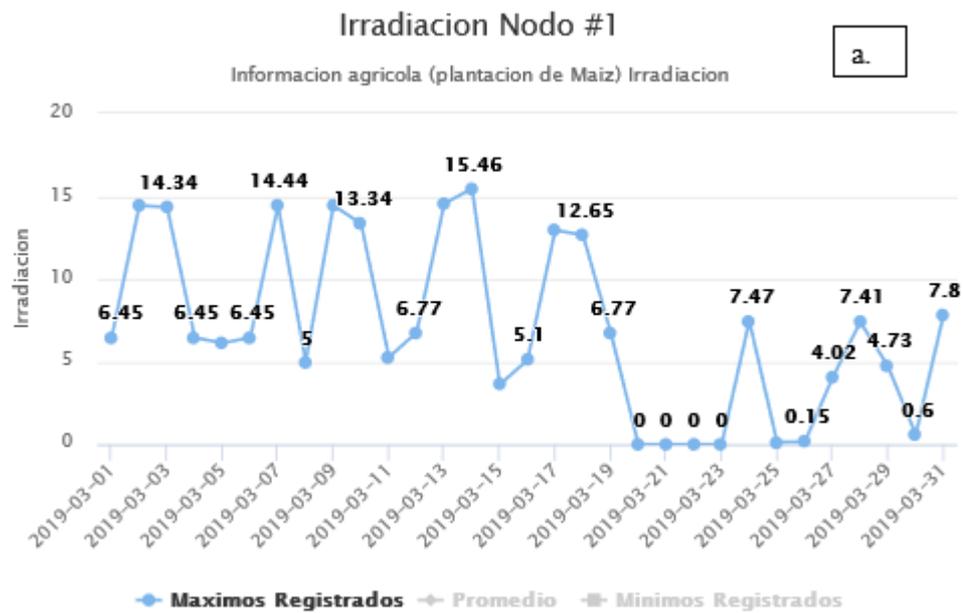


Figura 3.14. Medición de Irradiación en un Mes: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.

En la figura 3.15 se visualiza los datos obtenido durante el mes de marzo, y los valores óptimos de la radiación deben ser mayores o igual a $8 \text{ MJ/m}^2/\text{día}$. En la figura 3.15-(a) se observa que existe alta radiación durante el mes lo cual es bueno para las etapas de desarrollo del maíz, este factor es importante para el proceso de la fotosíntesis con esto se obtiene un buen producto, pero desde el 23 de marzo la radiación solar ha disminuido por la presencia de lluvias. En la figura 3.15-(b). se observa el promedio de los registros. En la figura 3.15-(c). se observa los mínimos registrados durante el mes, el cual indica que son valores adquiridos durante la noche por lo cual son muy bajos.



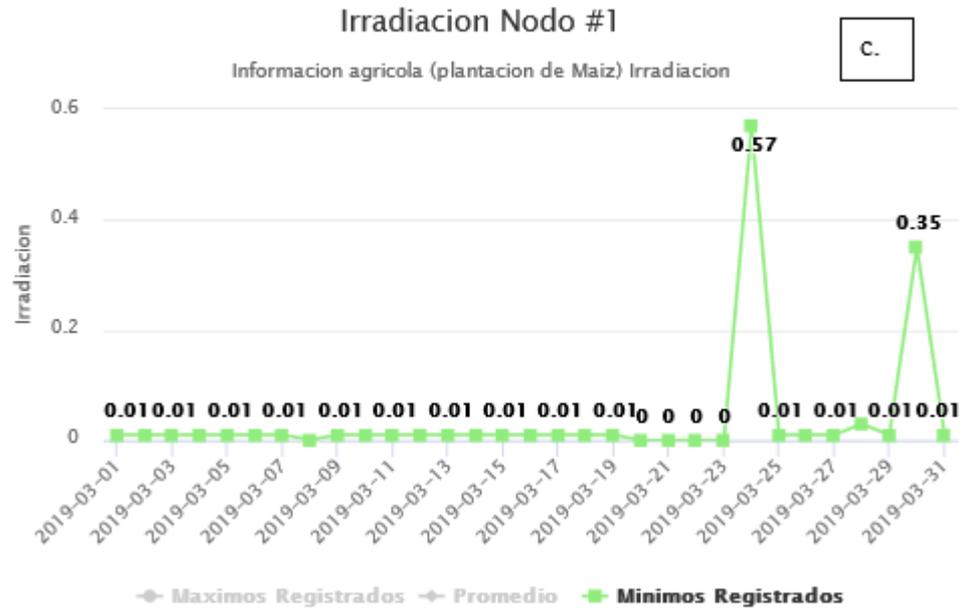
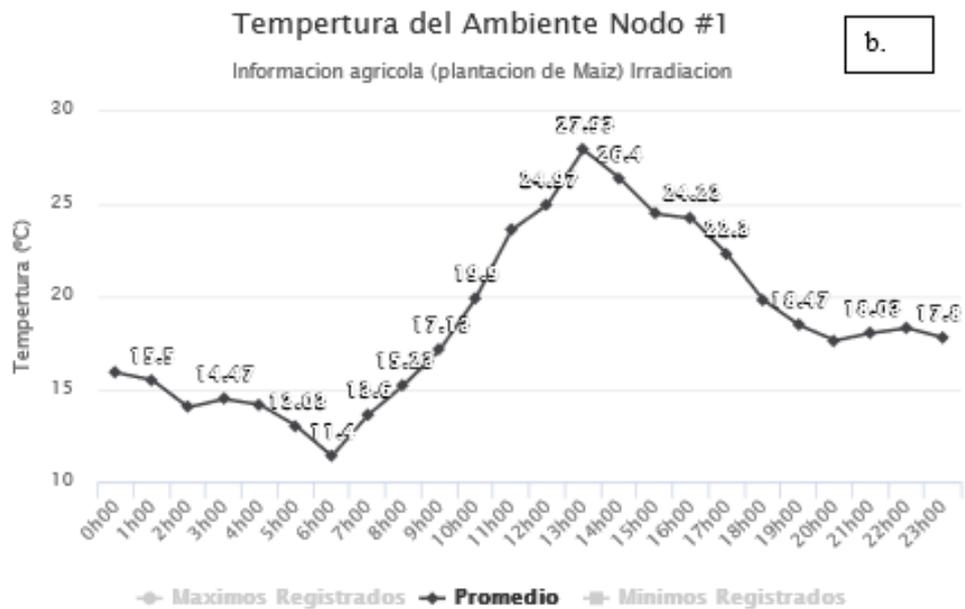
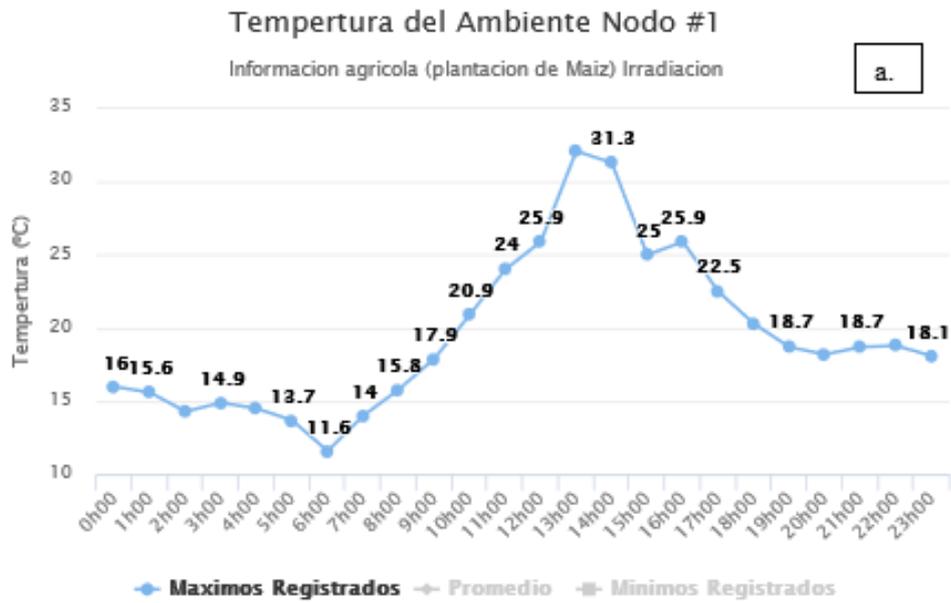


Figura 3.15. Medición de Irradiación en un Mes: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.

3.3.5 Medición de la temperatura de Ambiente

En la figura 3.16-(a) se analiza los datos obtenidos de la temperatura del ambiente durante el día 7 de marzo, en donde se analiza que desde las 12:00h hasta las 16:00h pm la temperatura del ambiente es adecuada para el desarrollo del maíz, las demás horas del día la temperatura está por debajo de los 25 ° C lo cual puede afectar al cultivo. En la figura 3.16-(b) se aprecia el promedio de los registros que tienen el mismo análisis de la figura 3.16-(a). En la figura 3.16-(c) se observa los mínimos registrados los cuales indican que la temperatura es muy baja con respecto a los parámetros óptimos (25-33°C), en donde el cultivo es muy sensible.



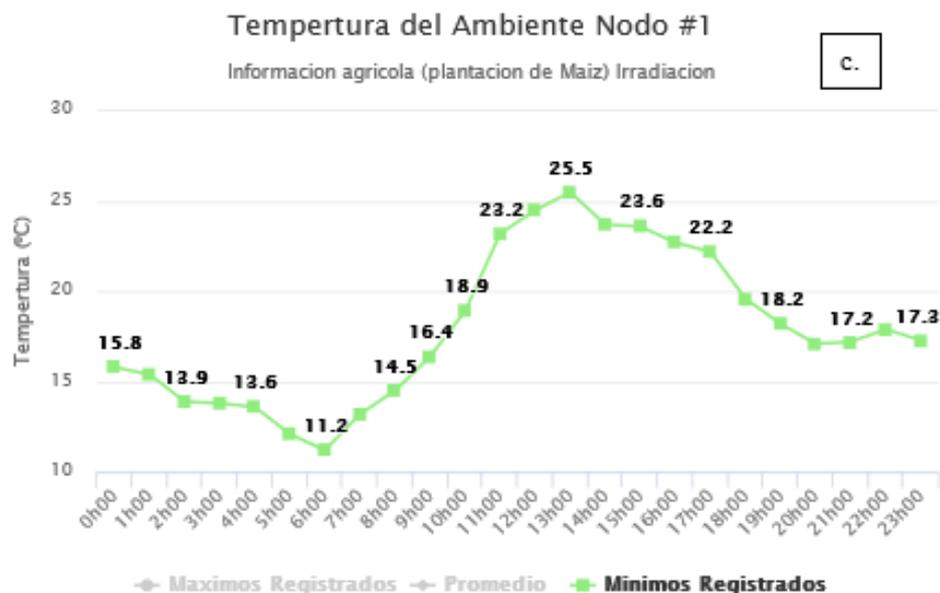
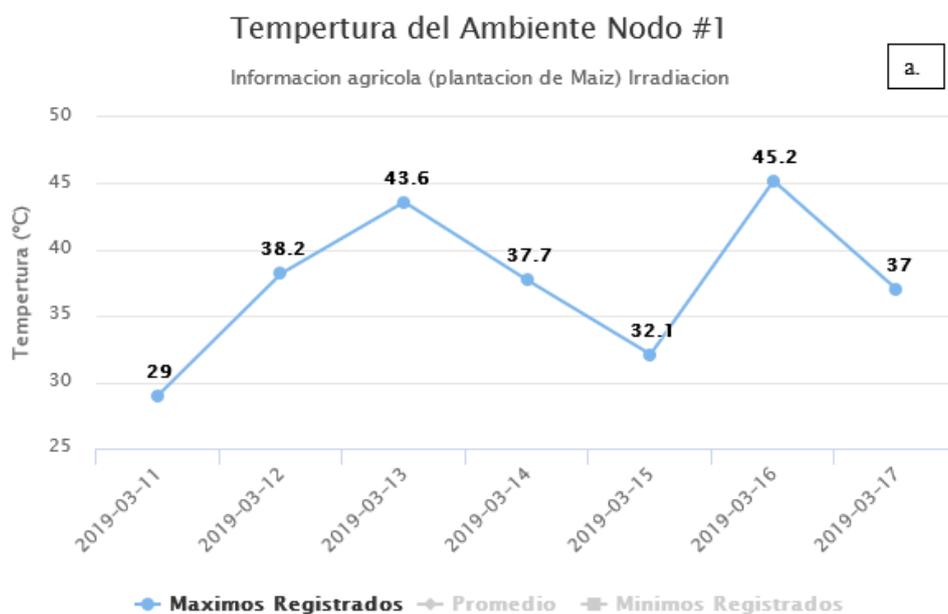


Figura 3.16. Medición de la Temperatura Ambiente en el día: a. máximos registrados, b. promedio y mínimos registrados.

En la figura 3.17 tenemos los datos adquiridos de la temperatura ambiente de una semana de marzo. En la figura 3.17-(a) se observa los máximos registrados durante una semana en donde se aprecia que la temperatura es muy alta, y está fuera del rango óptimo el cual está entre 25-33 °C. En la figura 3.17-(b) se observa los valores promedios en donde se aprecia que está fuera de los parámetros adecuados para el maíz está por debajo de los 25°C . En la figura 3.17-(c) se analiza los mínimos registrados que indica que están por debajo de 25°C que es el dato óptimo, esto sucede porque la temperatura baja durante las noches.



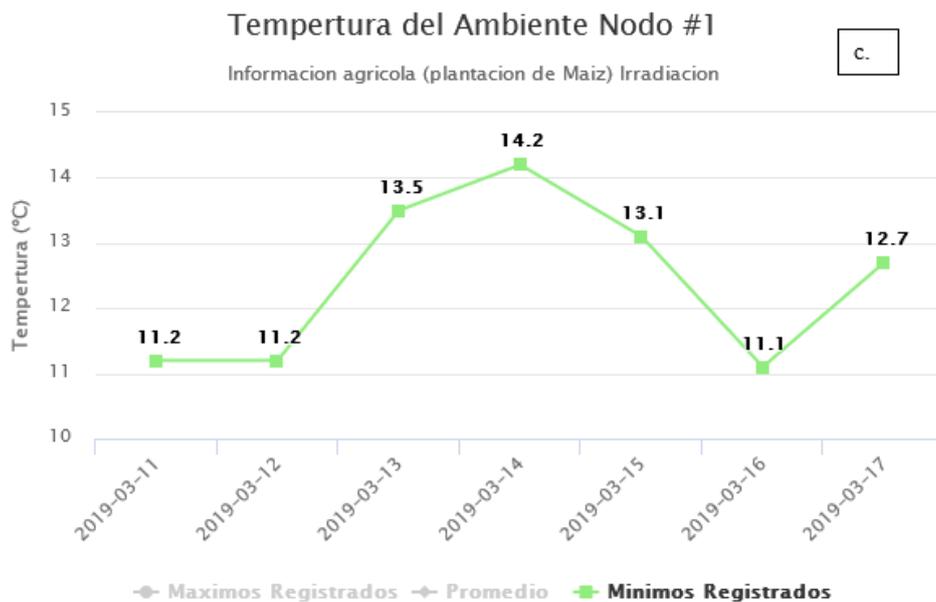
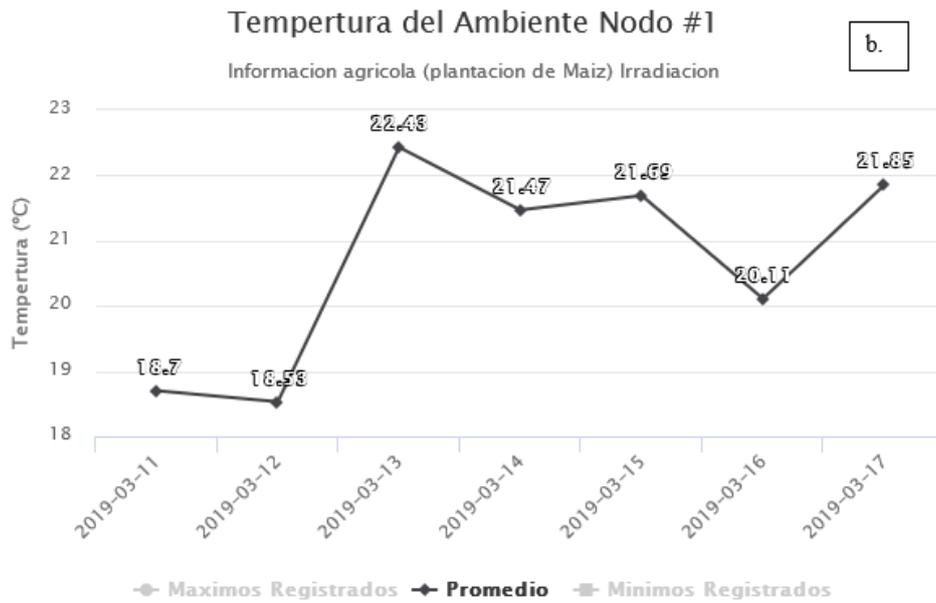
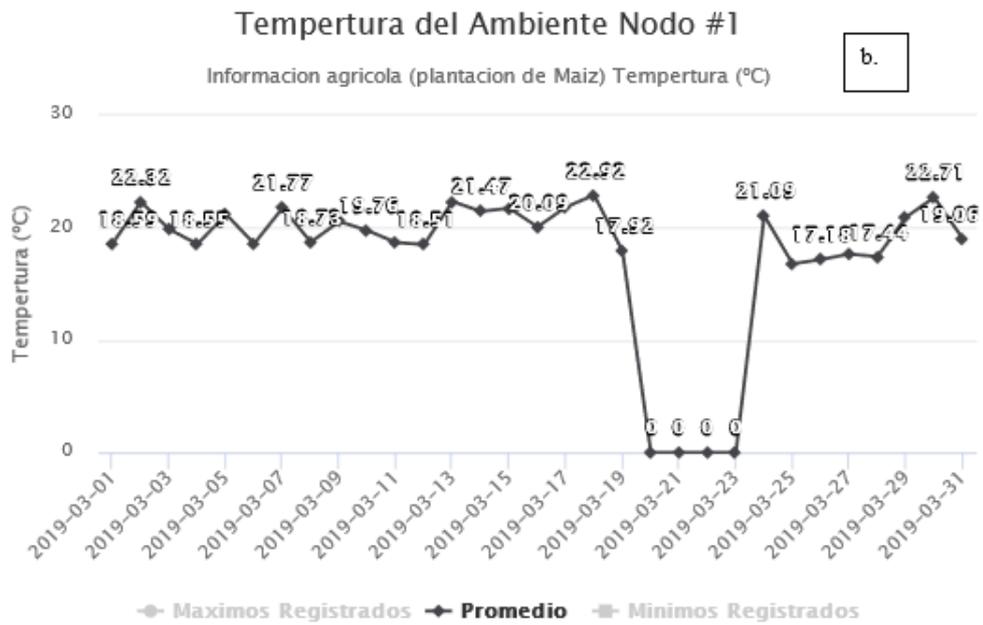
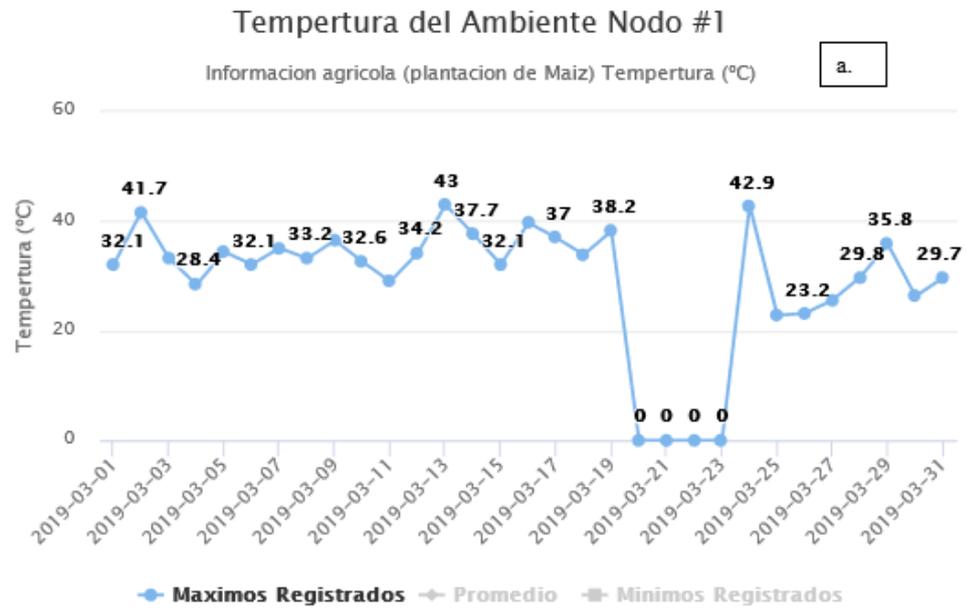


Figura 3.17. Medición de la Temperatura Ambiente de una semana: a. máximos registrados, b. promedio y mínimos registrados.

En la figura 3.18-(a) se observa los máximos registrados del mes de marzo en donde se aprecia que la temperatura es muy alta, y está fuera del rango óptimo el cual está entre 25-33 °C. En la figura 3.18-(b) se observa los valores promedios en donde se aprecia que está fuera de los parámetros adecuados para el maíz. En la figura 3.18-(c) se analiza los mínimos registrados que indica que están por debajo de 25°C que es el dato óptimo, esto sucede porque la temperatura baja durante las noches. Si la

temperatura es muy baja o alta puede causar que la planta disminuya la capacidad de absorber el agua.



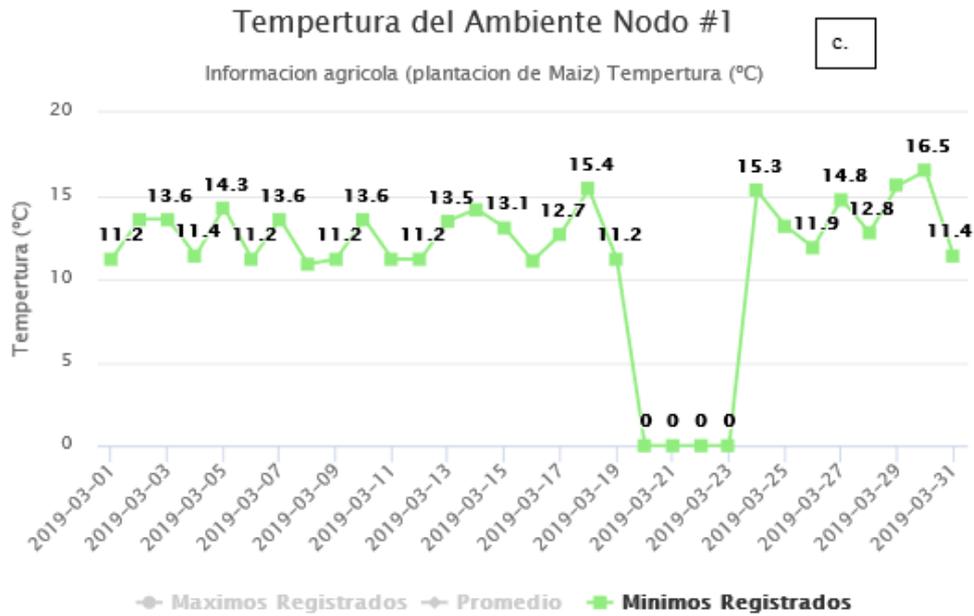
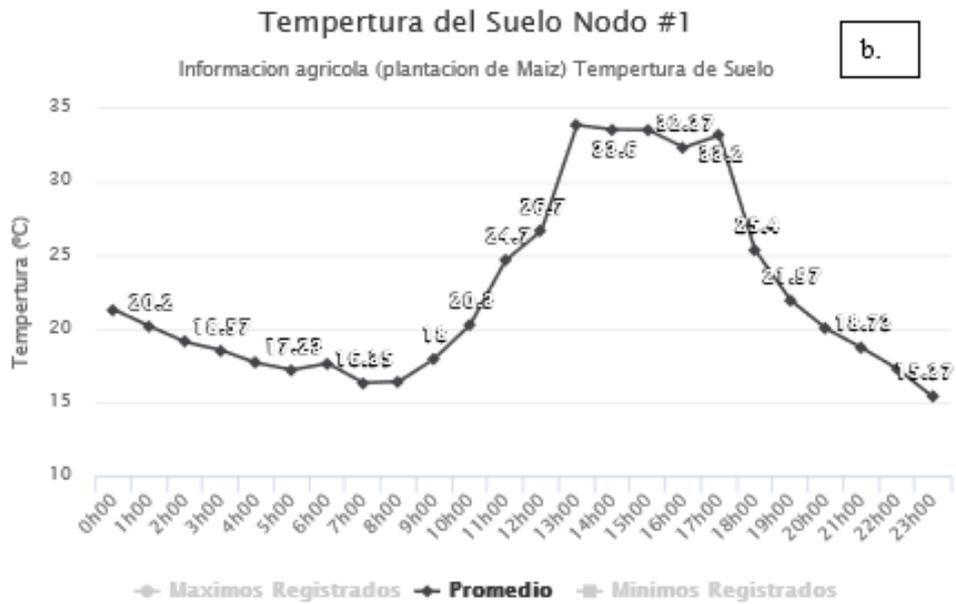


Figura 3.18. Medición de la Temperatura del Ambiente de un ms a. máximos registrados, b. promedio y mínimos registrados.

3.3.6 Temperatura del Suelo

En la figura 3.19-(a) se observa los máximos registrados del día 7 de Marzo de la temperatura del suelo, en donde se aprecia que durante las 0:00h y las 10:00h la temperatura del suelo es adecuada para el cultivo, pero desde las 11:00h la temperatura comienza a aumentar hasta llegar a los 34.6 °C esto puede afectar al desarrollo de las raíces de la planta de maíz, ya que los parámetros adecuados están dentro del rango 15-20°C. En la figura 3.19-(b) se observa los promedios donde se aprecia que la temperatura aumenta a partir de las 11:00h. En la figura 3.19-(c) se observa los mínimos registrados tiene el mismo comportamiento que la figura 3.19-(b).



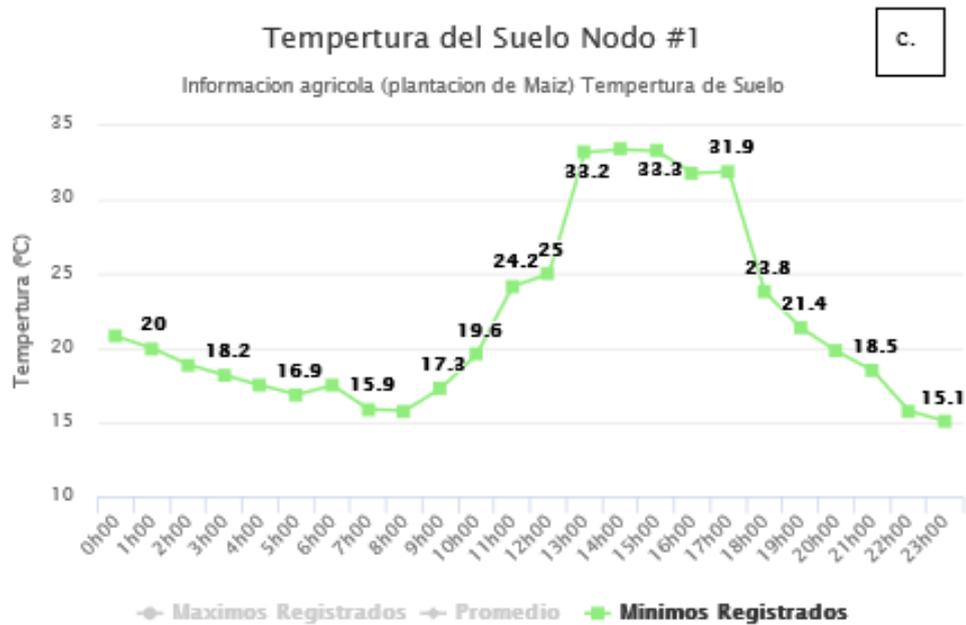
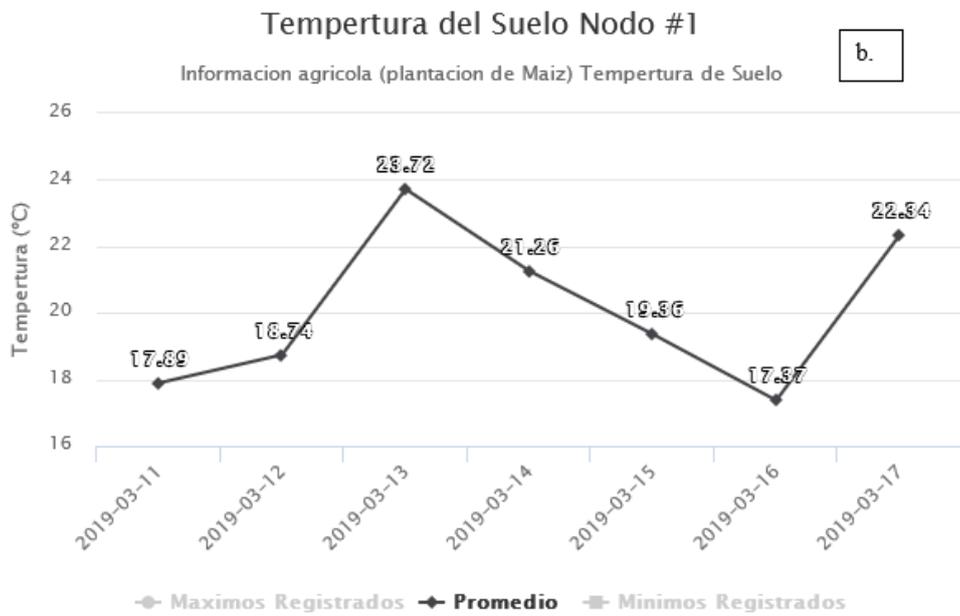
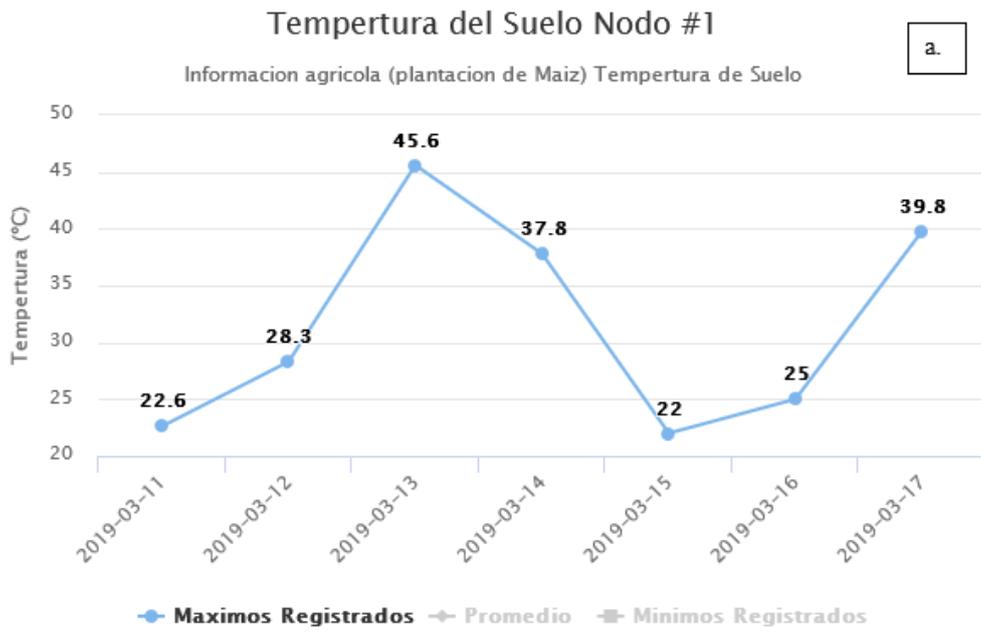


Figura 3.19. Medición de la Temperatura del Suelo de un día: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.

En la figura 3.20 se observa los datos adquiridos durante una semana de la temperatura ambiente. En la figura 3.20-(a) se observa los máximos registrados se aprecia que la temperatura es alta que esta sobre el rango optimo que es (15°C-20°C). En la figura 3.20-(b) se observa el promedio de la temperatura la cual indica en los días 13 y 14 la temperatura es alta mientras que en los demás días la temperatura es óptima para los cultivos. En la figura 3.20-(c) se observa los mínimos registrados en donde los días 13 y 15 de marzo están dentro del parámetro optimo, y los demás días tienen una temperatura baja. Las variaciones de la temperatura del suelo afectan directamente al crecimiento de las raíces.



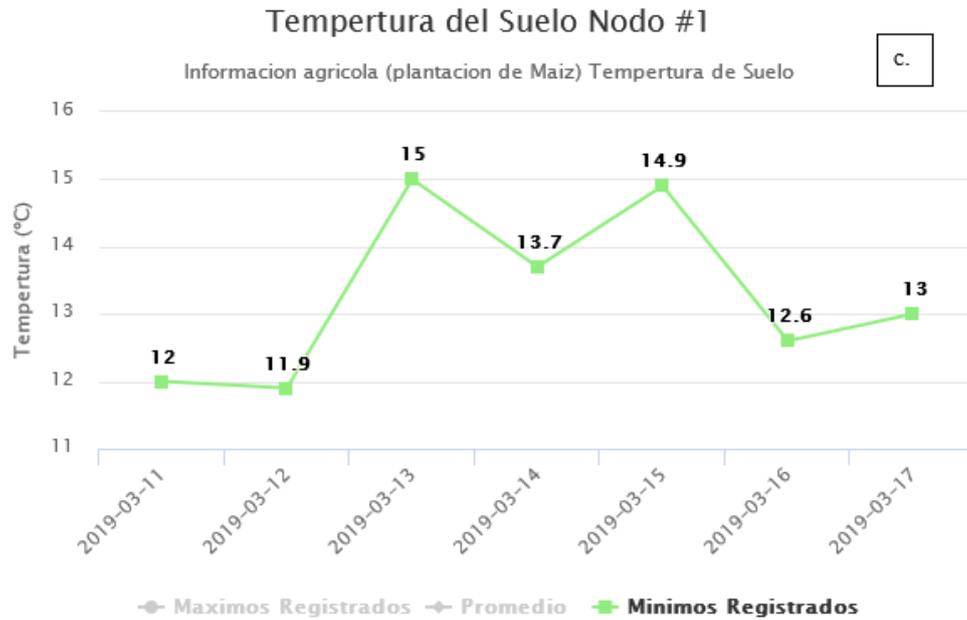
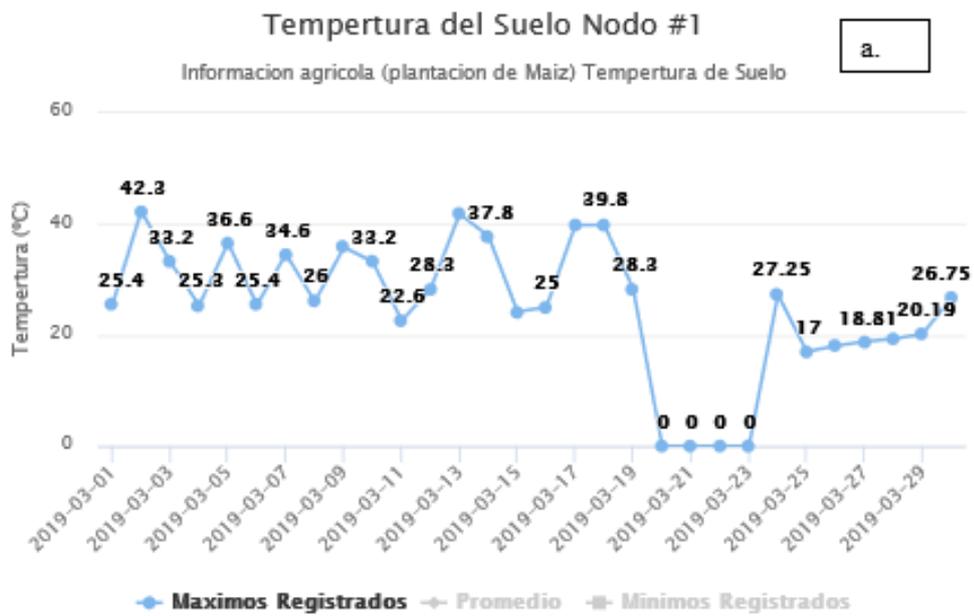


Figura 3.20. Medición de la Temperatura del Suelo de una semana: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.

En la figura 3.21-(a) se observa los máximos registrados durante todo el mes de marzo aumenta la temperatura, pero desde el 23 de marzo la temperatura del suelo disminuye estando en valor adecuado de temperatura. En la figura 3.21-(b) se observa el promedio de la temperatura la cual nos indica que en varios días la temperatura es óptima para los cultivos y los días 3, 7, 13 y 14 de marzo tienen una temperatura alta hasta 23.41°C, pero desde el día 23 de marzo la temperatura está en el rango adecuado (15°C-20°C). En la figura 3.21-(c) se observa los mínimos registrados en donde el valor más bajo de temperatura es 12° C. Las variaciones de la temperatura del suelo afectan directamente al crecimiento de las raíces.



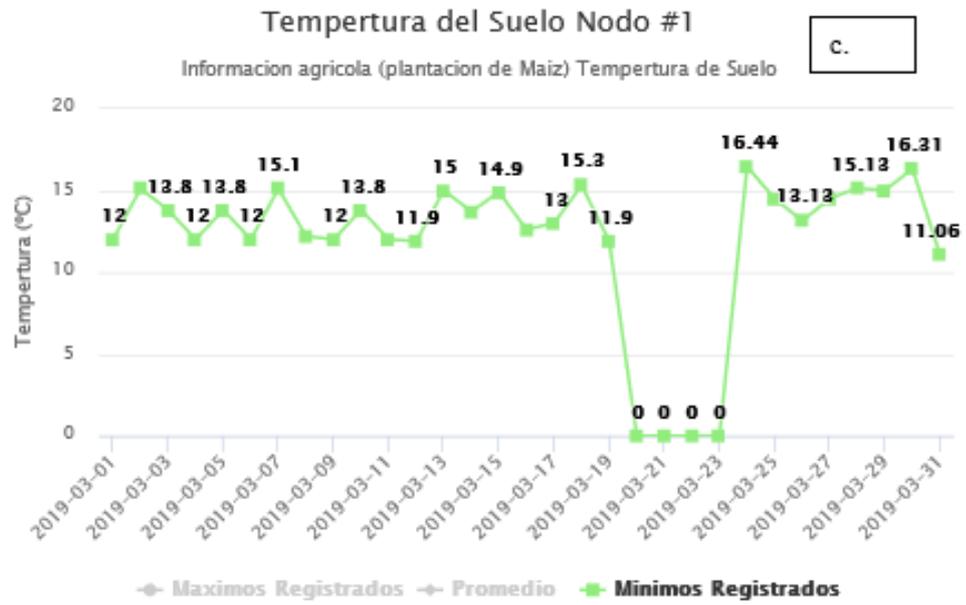


Figura 3.21. Medición de la Temperatura del Suelo de un mes: a. máximos registrados, b. promedio y c. mínimos registrados.

Capítulo 4 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Se logro diseñar e implementar un sistema embebido de monitoreo de las variables climáticas que influyen en el desarrollo de los cultivos de maíz en el sector de Guápan, el cual fue desarrollado en software y hardware libre, este sistema se va a encargar de recolectar los datos, almacenar en una base de Datos y se visualizara en la Interfaz Gráfica.

El sistema de monitoreo de variables climáticas se diseñó bajo los criterios y requerimientos obtenidos de la revisión bibliográfica de las tecnologías inalámbricas, los protocolos que se utilizan para la adquisición, monitoreo y envío de datos, así como, las normativas vigentes y los estándares.

El monitoreo de las variables climáticas de las plantaciones facilita la toma de decisiones optimas que permitan mejorar el desarrollo de los cultivos, para poder obtener mejores beneficios en la alimentación y económicos para los agricultores del sector, además forme se mantenga en funcionamiento proveerá de bases de datos para que puedan ser usadas como históricos de estudio

Los resultados demuestran los valores máximos, promedios y mínimos, que indican las variaciones de las variables climáticas durante el día, semana, mes y año. Estos valores indican que en ocasiones están fuera de los rangos óptimos para el desarrollo de las plantaciones de maíz.

Los resultados analizados indican que la humedad del ambiente es adecuada ya que se encuentra dentro del rango optimo (50% - 80%), humedad del suelo es adecuada casi todo el mes, pero desde el día 23 hasta el 31 de marzo la humedad aumenta en un rango de 75%-100% esto es ocasiona por las fuertes lluvias, lo cual afecta que las raíces no se desarrollen correctamente, y que no absorba suficiente agua para la planta de maíz. La luminosidad es óptima ya que esta sobre los 1200 lúmenes desde las 11:00h hasta las 16:00h, y esto hace que influya en el crecimiento de los cultivos. La radiación solar es adecuada para el cultivo ya que a partir de las 11:00h hasta las 16:00h está sobre los

8 MJ/m²/día. La temperatura del ambiente está por debajo del rango adecuado (25°C-33°C), esto ocasiona que la planta no absorba la cantidad suficiente de agua y la temperatura del suelo es mayor al valor adecuado que es 20°C esto afecta al crecimiento de las raíces.

Los nodos tienen un sistema de alimentación comprendido de una batería y panel solar el cual lo hace autosustentable, siendo un sistema de bajo consumo y bajo costo. En el nodo está integrados por varios sensores, para monitorear las condiciones del suelo y del ambiente, en tiempo real.

La interfaz Gráfica del sistema de monitoreo estará en la Web y podrá ser visualizada en cualquier navegador web o dispositivo móvil que tenga acceso a internet, también cuenta con una aplicación para sistema operativo Android. La interfaz diseñada visualiza las condiciones agroecológicas del cultivo de maíz.

Este sistema de red de sensores inalámbricos se puede ubicar en cualquier zona de cultivos de maíz, porque no necesita ningún tipo de infraestructura.

El diseño desarrollado presenta ventajas económicas como tecnológicas, la estructura del trabajo presentado se adapta a sistemas de adquisición y monitoreo para países en vías de desarrollo como en países desarrollados. Adicionalmente, representa mejora en la optimización de la producción del maíz relacionado con los cambios climáticos, provocando un mejor rendimiento de los cultivos, así como al acceso de sus datos.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda colocar el sensor de temperatura en un lugar adecuado, en donde no pueda ser afectado por el calentamiento de la carcasa ya que esta produce calor y ocasiona que el sensor de mediciones erróneas, o se debe acoplar un tipo de aislador de la temperatura para poder cubrir el sensor de temperatura para que no le afecte el calor que ocasiona la carcasa cuando existe mucho sol.

Se recomienda para prolongar la vida útil del sensor GY-VEML6070 se debe proteger de la humedad ya que al estar al descubierto y por su configuración de pines de conexión es propenso a cortocircuitos, por lo que el sensor radiación y luminosidad se puede cubrir con una mica de plástico de 0,250 micras a una separación de un

centímetro así no afectara la captación calor aun cuando el sensor de radiación es tolerante a altas temperaturas.

Se debe considerar la altura a la que quedara el dispositivo de trasmisión ya que puede disminuir el nivel de enlace con el crecimiento de la plantación y cuando se produce fuertes lluvias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Agricultura", *Importancia*, 2013. [Online]. Available: <https://www.importancia.org/agricultura.php>. [Accessed: 14- Feb- 2019].
- [2] El Productor, "Ecuador: El maíz, un alimento fundamental de identidad", *Noticias Agropecuarias del Ecuador y el Mundo - Primer periódico agrodigital del Ecuador*, 2017. [Online]. Available: <http://elproductor.com/noticias/ecuador-el-maiz-un-alimento-fundamental-de-identidad/>. [Accessed: 14- Feb- 2019].
- [3] A. Bravo, "El maíz en El Ecuador", *Semillas.org.co*, 2005. [Online]. Available: <http://www.semillas.org.co/es/el-maz-en-el-ecuador>. [Accessed: 14- Feb- 2019].
- [4] R. Villalobos Flores and J. Retana Barrantes¹, "Efecto del Cambio Climático en la Agricultura. Experiencias en Costa Rica", *Imn.ac.cr*. [Online]. Available: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20913/Cambio+clim%C3%A1tico+y+agricultura+en+Costa+Rica>. [Accessed: 15- Feb- 2019].
- [5] J. Delgado Pérez, "Agricultura y cambio climático", *UPA*, 2017. [Online]. Available: <https://www.upa.es/upa/uControlador/index.php?nodo=1021&item=2128&hmv=2128&sub=50&page=>. [Accessed: 15- Feb- 2019].
- [6] G. Reyes Anistro, S. Adame Martínez and E. Cadena Vargas, *Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz Zea mays*, 6th ed. ISSN: 2007-6576: Libertad Chávez Rodríguez, 2018, pp. 93-113.
- [7] R. Ahumada, G. Velázquez, E. Flores and J. Romero, *Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz*, 22nd ed. México: Universidad autónoma de Aguascalientes, 2014, pp. 48-53.
- [8] Ludeña, C. and Wilk, D. (2013). ECUADOR: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. bid.
- [9] F. Urbano, *Redes de Sensores Inalambricos Aplicadas a Optimizacion en Agricultura de Precisión para Cultivos de Cafe en Colombia*, 6th ed. Popayan: Journal de Ciencia e Ingeniería, 2013, pp. 46-52.
- [10] J. Lopez, F. Soto, J. Suardíaz and A. Iborra, *Red de Sensores Inalámbrica para Agricultura de Precisión*. Cartagena, 2016.
- [11] N. Castro C., L. Chamorro F. and C. Viteri M., *Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado*, vol. 33. Revista de Ciencias Agrícolas, 2016, p. 106.
- [12] Juan Pablo Ayala Tenesaca, "Evaluación de valor neto, eficiencia, biodiversidad y características físicas químicas del suelo, de tres sistemas de siembra utilizados en el cultivo de maíz (*Zea mays* l.) en la parroquia Turi, cantón Cuenca, Ecuador.", Universidad de Cuenca.
- [13] C. Hidroponía, "Importancia De La Agricultura En México", *Hidroponia.mx*, 2015.
- [14] R.L. Paliwal, "Usos del maíz", *Fao.org*, 2018.
- [15] Sánchez J.L., "Comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), con sistema de siembra a doble hilera en la zona de Vinces-Ecuador", Universidad de Guayaquil.

- [16] Besantes E., “*Manejo De Cultivos Andinos Del Ecuador*”, Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, junio de 2015
- [17] Zhindon D., Massa P., Bonilla J., "Relación del cambio climático con la producción agrícola en la Provincia del Azuay", INNOVA Research Journal, Journaluidegye.com, 2018.
- [18] Shiferaw B., Prasanna B.M., Hellin Jonathan, Bänziger M., (2011) “Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security”, Publisher Springer Netherlands, 1876-4525.
- [19] Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Guápan, “Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial parroquial rural de Guápan del cantón Azogues”.
- [20] Ríos M., Sánchez L., Gómez J. *Sistema De Monitoreo Agrícola Mediante Redes Inalámbricas De Sensores Para El Monitoreo De Variables Ambientales – Sismoagro*, Universidad del Sinú.
- [21] Bembibre, C. (2011). *Maíz*. [online] Importancia. Available at: <https://www.importancia.org/maiz.php> [Accessed 25 Aug. 2018].
- [22] Fao.org. (2018). *El maíz en la nutrición humana - Introducción*. [online] Available at: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s02.htm> [Accessed 25 Aug. 2018].
- [23] *El maíz, un alimento fundamental de identidad - Bayer Ecuador*, Cropscience.bayer.ec, 2018. [Online]. Available: <https://www.cropscience.bayer.ec/es-EC/Noticias/Noticias/2017/Septiembre/Maiz-alimento-ancestral.aspx>. [Accessed: 27- Aug- 2018].
- [24] A. Bravo, (2005) . *El maíz en El Ecuador - Semillas*, Semillas.org.com. [Online]. Available: <http://www.semillas.org.co/es/el-maz-en-el-ecuador>. [Accessed: 22- Aug- 2018].
- [25] "Cultivo de maíz", asociación nacional del café, 2018. [Online]. Available: https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_maiz. [Accessed: 27- Aug- 2018].
- [26] R. Muscheler, I. Gutiérrez and G. Rivas. (2008). *Producción Ecología de Cultivos Anuales Básicos: Maíz, Frijol Y Calabaza: Escuela de Campo Para Promotores Y Promotoras de la Selva, Chiapas, México*, Google Books. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=zNMOAQAIAAJ&pg=PA10&lpg=PA10&dq=generalidades+el+maiz&source=bl&ots=DgYK_dLgFz&sig=gXeh6S-VUrepXcYLwCoXjzwo2Qw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjxeS6243dAhWFCswKHVDoC484ChDoATAHegQIABAB#v=onepage&q=generalidades%20el%20maiz&f=false. [Accessed: 27- Aug- 2018].
- [27] A. Pavon. (2015). *Generalidades del Cultivo de Maíz. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz* , p. previa.uclm.es.
- [28] N. Cajamarca, "Generalidades Del Cultivo De Maíz", Maiznancycajamaca.blogspot.com, 2014. [Online]. Available: <http://maiznancycajamaca.blogspot.com/2014/11/1.html>. [Accessed: 27- Aug- 2018].
- [29] "Características del maíz | Enciclopedia Ilustrada - delMaiz.info", delMaiz.info, 2018. [Online]. Available: <http://delmaiz.info/caracteristicas/>. [Accessed: 27- Aug- 2018].

- [30] D. Jiménez. (2018). *Milpa (Calabazas, habichuelas, Maíz)*. Permautosuficiencia.blogspot.com, 2018. [Online]. Available: <http://permautosuficiencia.blogspot.com/2013/05/milpa-calabazas-habichuelas-maiz.html>. [Accessed: 27- Aug- 2018].
- [31] Salvagiotti, F. (2019). *El cultivo de maíz y las condiciones climáticas*. [online] Engormix. Available at: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/cultivo-maiz-condiciones-climaticas-t26352.htm> [Accessed 6 Jan. 2019].
- [32] Goldense, D. (2016). *Descubre los factores limitantes del rendimiento de maíz*. [online] Hortalizas. Available at: <https://www.hortalizas.com/cultivos/descubre-los-factores-limitantes-que-pueden-reducir-el-rendimiento-de-maiz/> [Accessed 6 Jan. 2019].
- [33] Intagri S.C. (2016). *Efectos del Exceso de Humedad del Suelo en el Sistema Radical y Absorción de Nitrógeno en el Maíz | Intagri S.C.* [online] Available at: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/exceso-humedad-del-suelo-en-sistema-radical> [Accessed 6 Jan. 2019].
- [34] E. Basantes. (2015). *MANEJO DE CULTIVOS ANDINOS DEL ECUADOR*, 1st ed. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- [35] DelMaiz.info. (2018). *El Cultivo del Maíz: Técnicas, consejos y plagas - delMaiz.info*. [online] Available at: <http://delmaiz.info/cultivo-plagas/> [Accessed 29 Aug. 2018].
- [36] Basantes, E. (2017). *Manejo del Cultivo de Maíz - Noticias Agropecuarias del Ecuador y el Mundo - Primer periódico agrodigital del Ecuador*. [online] Noticias Agropecuarias del Ecuador y el Mundo - Primer periódico agrodigital del Ecuador. Available at: <http://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos-agricolas/manejo-del-cultivo-de-maiz/> [Accessed 29 Aug. 2018].
- [37] De León, C . (1984). *Enfermedades del maíz : una guía para su identificación en el campo*. 114 pages. México. CIMMYT.
- [38] Programa de Maíz del CIMMYT. (2004). *Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo*. Cuarta edición. México, D.F.: CIMMYT.
- [39] H. Liu, Z. Meng and S. Culi, *A Wireless Sensor Network Prototype for Environmental Monitoring in Greenhouses*. Shanghai, China: International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007.
- [40] C. Cambra, S. Sendra, J. Jiménez and J. Lloret, *Red de Sensores Inalámbricos de Bajo Consumo Energético en Agricultura Hidropónica*. Valencia: Jornadas de Ingeniería Telemática, 2017.
- [41] J. Vega, M. Lagos, G. Salgado and V. Tapia, *Implantación De Una LPWAN Para Monitoreo De Temperatura Y Humedad En Un Invernadero*. Celaya México, 2018.
- [42] Ceballos, M. R., Gorricho, J. L., Palma Gamboa, O., Huerta, M. K., Rivas, D., & Erazo Rodas, M. (2015). Fuzzy system of irrigation applied to the growth of habanero pepper (*capsicum chinense jacq.*) under protected conditions in yucatan, mexico. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(6), 123543.
- [43] E. Maya, *Red Inalámbrica De Sensores A Través De 6lowpan Para Una Agricultura De Precisión Aplicado En La Hacienda Cananvalle De La Ciudad De Ibarra*. Ibarra: Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, 2014.

- [44] Erazo-Rodas, M., Sandoval-Moreno, M., Muñoz-Romero, S., Huerta, M., Rivas-Lalaleo, D., Naranjo, C., & Rojo-Álvarez, J. (2018). Multiparametric monitoring in equatorial tomato greenhouses (i): Wireless sensor network benchmarking. *Sensors*, 18(8), 2555.
- [45] Erazo-Rodas, M., Sandoval-Moreno, M., Muñoz-Romero, S., Huerta, M., Rivas-Lalaleo, D., & Rojo-Álvarez, J. (2018). Multiparametric monitoring in equatorial tomato greenhouses (ii): Energy consumption dynamics. *Sensors*, 18(8), 2556.
- [46] Erazo, M., Rivas, D., Pérez, M., Galarza, O., Bautista, V., Huerta, M., & Rojo, J. L. (2015, February). Design and implementation of a wireless sensor network for rose greenhouses monitoring. In *2015 6th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)* (pp. 256-261). IEEE
- [47] Fernandez, L., Huerta, M., Sagbay, G., Clotet, R., & Soto, A. (2017, June). Sensing climatic variables in a orchid greenhouse. In *2017 International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems (ICCDACS)* (pp. 101-104). IEEE.
- [48] Guillermo, J. C., García-Cedeño, A., Rivas-Lalaleo, D., Huerta, M., & Clotet, R. (2018, November). IoT architecture based on Wireless Sensor Network applied to agricultural monitoring: A case of study of cacao crops in Ecuador. In *International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change* (pp. 42-57). Springer, Cham.
- [49] Abad, J., Farez, J., Chasi, P., Guillermo, J. C., García-Cedeño, A., Clotet, R., & Huerta, M. (2018, November). Coffee Crops Variables Monitoring: A Case of Study in Ecuadorian Andes. In *International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change* (pp. 202-217). Springer, Cham.
- [50] Briñez, L. (2010). "PUNTOS DE CONTROL INTERNO UTILIZANDO TECNOLOGIA ZIGBEE, APLICADOS A ELECTRICARIBE EN ASOCIACION NIPPON TRADE DE COLOMBIA S.A E IDOSDE". 1st ed. [ebook] Bucaramanga: Departamento de ciencias básicas, Facultad de Ingeniería Electrónica. Available at: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/910/digital_19591.pdf?sequence=1 [Accessed 24 Aug. 2018].
- [51] Garcia, A. (2017). *Estudio Sobre Tecnologías De Red Inalambricas De Area Personal. Instalacion, Configuracion Y Monitorizacion De Una Red Zigbee*. [ebook] Cantabria: Universidad de Cantabria. Available at: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12021/396458.pdf?sequence=1> [Accessed 30 Aug. 2018].
- [52] Vera, C., Barbosa, J. and Pabón, D. (2017). *La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física*. 3rd ed. [ebook] Pereira: Grupo de investigación para el desarrollo económico, tecnológico y social, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pamplona, Colombia. Available at: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/9831/10581> [Accessed 30 Aug. 2018].
- [53] Ortega, C., Socorro, D. and Ubeda, L. (2008). *Trabajo de Técnicas de Alta Frecuencia TAF*. [ebook] Managua: Universidad Nacional de ingeniería. Available at: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/zigbee/zigbee.pdf> [Accessed 30 Aug. 2018].

- [54] Moreno, J. and Fernandez, D. (2007). *Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4)*. [ebook] Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/16355083.pdf> [Accessed 30 Aug. 2018].
- [55] Fernandez, L. (2017). *Diseño e implementación de una red de sensores para el monitoreo de variables climáticas en un invernadero de Orquídeas*. [ebook] Cuenca. Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14239/1/UPS-CT007001.pdf> [Accessed 30 Aug. 2018].
- [56] Sites.google.com. (2018). *TIPOS DE DISPOSITIVOS - Fundamentos de Ing. Software*. [online] Available at: <https://sites.google.com/site/ingsoftwares5a/tipos-de-dispositivos> [Accessed 30 Aug. 2018].
- [57] Dignani, J. (2011). *Análisis del protocolo zigbee*. [ebook] Plata: Facultad de informática Universidad Nacional de la Plata. Available at: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/18349/Documento_completo_.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 30 Aug. 2018].
- [58] Tituaña, M. (2010). *Implementación De Un Prototipo De Comunicaciones Mediante La Utilización Del Estándar Ieee 802.15.4*. [ebook] Sangolquí: Departamento De Eléctrica Y Electrónica. Available at: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/134/1/T-ESPE-029262.pdf> [Accessed 30 Aug. 2018].
- [59] J. Guerrero, "Arduino Uno: Especificaciones y características", *PlusElectric*, 2014. [Online]. Available: <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>. [Accessed: 20- Feb- 2019].
- [60] Castro, A. (2014). *¿Qué es Raspberry Pi, dónde comprarla y cómo usarla?*. [online] ComputerHoy. Available at: <https://computerhoy.com/noticias/hardware/que-es-raspberry-pi-donde-comprarla-como-usarla-8614> [Accessed 7 Jan. 2019].
- [61] Coronado, E. (2013). *Tutorial Xbee parte 1: ¿Qué es un Xbee y qué es necesario?*. [online] Mecatrónica UASLP. Available at: <https://mecatronicauaslp.wordpress.com/2013/07/04/xbee-parte-1-que-es-un-xbee-y-que-es-necesario/> [Accessed 7 Jan. 2019].
- [62] Naylampmechatronics.com. (n.d.). *Tutorial sensor de temperatura y humedad DHT11 y DHT22*. [online] Available at: https://naylampmechatronics.com/blog/40_Tutorial-sensor-de-temperatura-y-humedad-DHT1.html [Accessed 7 Jan. 2019].
- [63] Extras, M. (n.d.). *Módulo de Sensor de Temperatura y Humedad DHT22 para Arduino + Extras - TechMake Electronics*®. [online] Techmake.com. Available at: <http://www.techmake.com/00359.html> [Accessed 7 Jan. 2019].
- [64] "Mercado Libre Argentina - Donde comprar y vender de todo", *Articulo.mercadolibre.com.ar*, 2019. [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-665394825-modulo-sensor-detector-ultravioleta-veml6070-arduino-mona-_JM?quantity=1. [Accessed: 20- Feb- 2019].
- [65] "Tutorial sensor de humedad de suelo - Madness Electronics", *Madness Electronics*, 2019. [Online]. Available:

<http://www.madnesselectronics.com/tutorial-sensor-de-humedad-de-suelo/>.
[Accessed: 20- Feb- 2019].

- [66] "SEN-DS18B20 SENSOR DE TEMPERATURA SUMERGIBLE - Inteligencia Artificial - Componentes Electronicos y Robotica", *Inteligenciaartificialyrobotica.com*, 2019. [Online]. Available: <http://www.inteligenciaartificialyrobotica.com/esp/item/392/sen-ds18b20-sensor-de-temperatura-sumergible>. [Accessed: 20- Feb- 2019].
- [67] Caluña, A. and Jordán, A. (2017). *Diseño E Implementación De Un Sistema De Monitoreo Climatológico Vía Gprs Y Automatización De La Calibración Del Anillo Del Piranómetro En La Estación Meteorológica-Esposh*. Riobamba-Ecuador.
- [68] CONALEC (2008). *Atlas Solar Del Ecuador Con Fines De Generación Eléctrica*. Quito.

APÉNDICES

APÉNDICE A: CÓDIGO DE PYTHON

```
import sys
import serial
import time
import subprocess
import smtplib

sent = False
while True:
    arduino = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)
    a = arduino.readline()
    vector = a.split(',')
    if vector[0] == "n1":
        nd = vector[0]
        hum = vector[1]
        tem = vector[2]
        Trel = vector[3]
        Hs = vector[4]
        lum = vector[5]
        irad = vector[6]
        tems = vector[7]

        url = "http://proyectoplatano-maiz-com-ec.umbler.net/nodo_1.php?hum="+str(hum)+"&tem="+str(tem)+"&trel="+str(Trel)+"&hs="+str(Hs)+"&tems="+str(tems)+"&irad="+str(irad)+"&lum="+str(lum)+"&ndo="+str(nd)

        p = subprocess.Popen(["/usr/bin/links", url])
        time.sleep(10)
        p.kill()
    elif vector[0] == "n2":
        nd = vector[0]
        hum = vector[1]
        tem = vector[2]
```

```

Trel = vector[3]
Hs = vector[4]
lum = vector[5]
irad = vector[6]
tems = vector[7]
url = "http://proyectoplatano-maiz-com-ec.umbler.net/nodo_2.php?hum="+str(hum)+"&tem="+str(tem)+"&trel="+str(Trel)+"&hs="+str(Hs)+"&tems="+str(tems)+"&irad="+str(irad)+"&lum="+str(lum)+"&ndo="+str(nd)
p = subprocess.Popen(["/usr/bin/links", url])
time.sleep(20)
p.kill()
else:
    seg=6
    for i in range(1,seg):
        seg=seg-1;
        time.sleep(1)
        if seg==1:
            server = smtplib.SMTP_SSL('smtp.googlemail.com', 465)
            server.login('proyectoplatano.maiz@gmail.com', 'ps_fernando')

            server.sendmail("proyectoplatano.maiz@gmail.com", "jaimegustavo380@hotmail.com", "se ha enviado el correo para informar que no está funcionando el nodo")
            server.quit()
            print ("se ha enviado el correo para informar que está funcionando el nodo")

```

APÉNDICE B: CÓDIGO DE ARDUINO NODO 1

```

////////// inicio declaración de librerías //////////
#include <OneWire.h> //libreria sensor temperatura agua
#include <DallasTemperature.h> //libreria sensor temperatura agua

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2

```

```

// se descomenta el tipo o modelo de sensor que estamos usando/////
//#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
//#define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)

#include <Wire.h>
#include "Adafruit_VEML6070.h"

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinDatosDQ = 9; //pin lectura sensor temperatura agua
// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

Adafruit_VEML6070 uv = Adafruit_VEML6070();
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//////////////////// Fin declaracion de librerias //////////////////////
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  /*Serial.println("DHTxx test!");
  Serial.println("VEML6070 Test");*/
  uv.begin(VEML6070_2_T);
  // Iniciamos el bus 1-Wire
  sensorDS18B20.begin();
  dht.begin();
  delay(200);
}

void loop() {
  int casa = 10;
  int cadena1=1;
  delay(2000);
  delay(30000); // espera 30 seg

```

```

String nodo="n1"; //identificador del nodo
////////// Inicio calculo y adquisicion de las variables de sensor TDH-22 //////////

//¡La lectura de temperatura o humedad toma alrededor de 250 milisegundos!
// Las lecturas del sensor también pueden tener una antigüedad de hasta 2 segundos//
(es un sensor muy lento)

float h = dht.readHumidity();
// Read temperature as Celsius
float t = dht.readTemperature();
// Read temperature as Fahrenheit
float f = dht.readTemperature(true);

// Compruebe si alguna lectura ha fallado y salga antes (para intentarlo de nuevo).
if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
  return;
}
// Compute heat index
// Must send in temp in Fahrenheit!
float hi = dht.computeHeatIndex(f, h);
float hic= (hi-32)* 5/9; // conversion percepcion de temeperatura a celcius
// imprimir datos
////////// Fin calculo y adquisicion de las variables de sensor TDH-22 //////////
////////// Inicio calculo y adquisicion de las variables de sensor humedd tierra //////////
delay(100)
// String cadena= "I";
int lectura =analogRead(A0);
//lecturas de los 3 posibles estados sensor temperatura
//// cuando se pasa a una escala 100%
if(lectura >=1000 ){
  //cadena =(lectura*100)/1020 ;
  cadena1= 0;
}

```

```

else if (lectura <1000 && lectura >= 750){

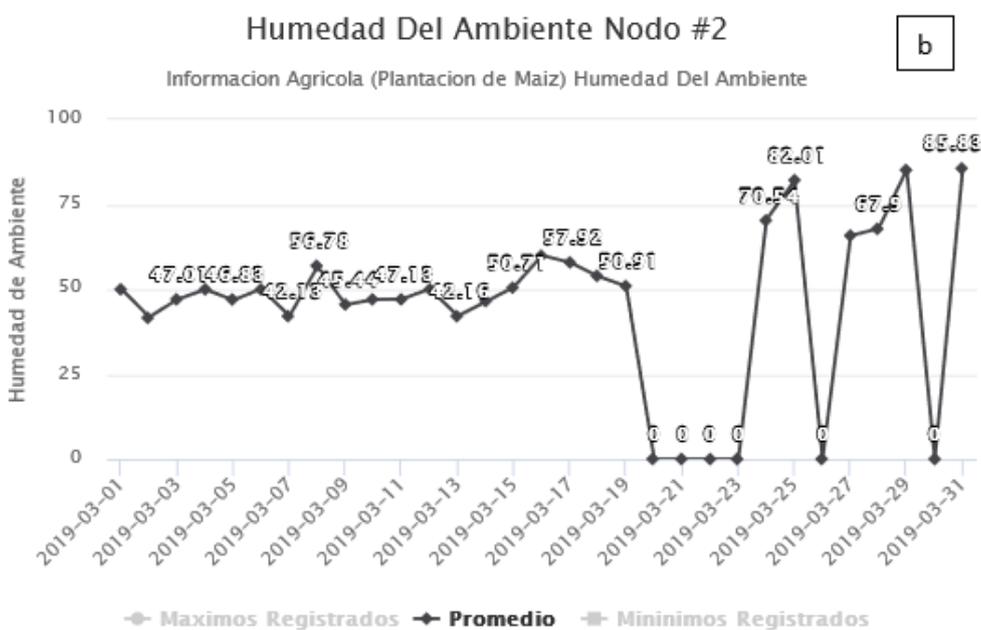
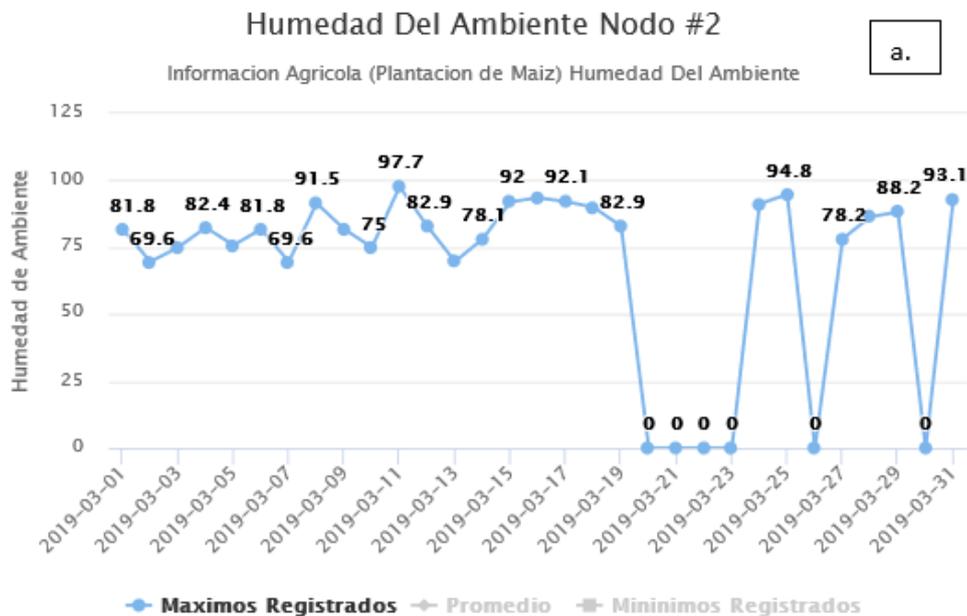
    cadena1=25;
}
else if (lectura <750 && lectura >= 650){

    cadena1= 50;
}
else if (lectura < 650 && lectura >= 370){
    // EL SUELO ESTA HUMEDO <<"
    cadena1=75;
}
else if (lectura < 370){
    //>> EL SUELO ESTA MAX HUMEDAD <<"
    cadena1= 100;
}
////////// Fin calculo y adquisicion de las variables de sensor humedd tierra //////////
////////// Inicio calculo y adquisicion de las variables indice UV //////////
float UVindex = uv.readUV();
UVindex /=225.0;
delay(100);
////////// Fin calculo y adquisicion de las variables indice UV //////////
//////////inicio adq valores sensor temperatura agua /////
// Mandamos comandos para toma de temperatura a los sensores

```

APÉNDICE C: RESULTADOS OBTENIDOS DEL MES DE MARZO POR EL NODO ROUTER 2:

Humedad del Ambiente del nodo router 2.



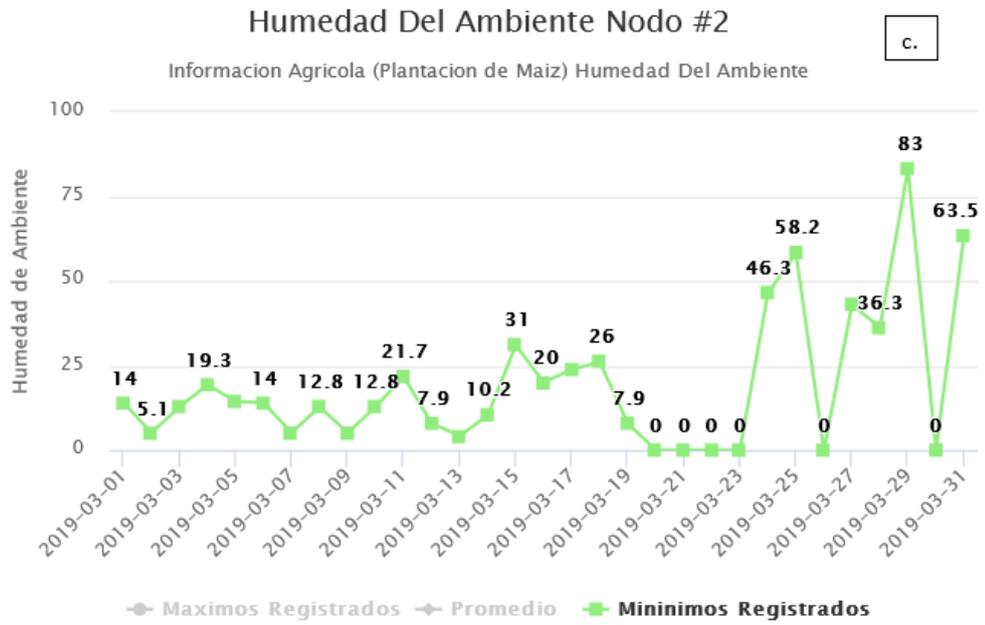
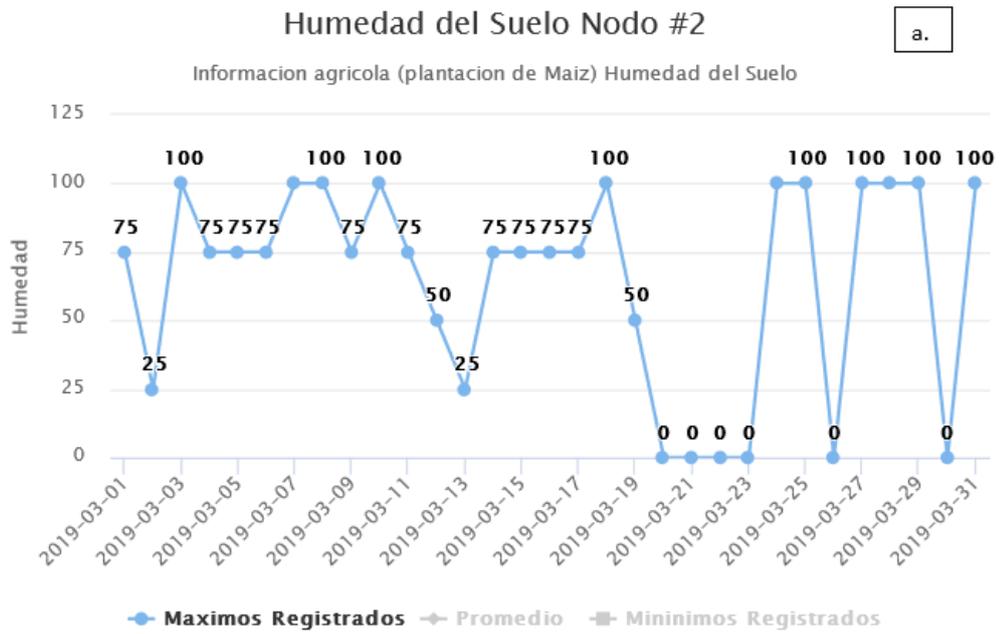


Figura A.1. Humedad del Ambiente del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos

Humedad del Suelo del Nodo Router 2:



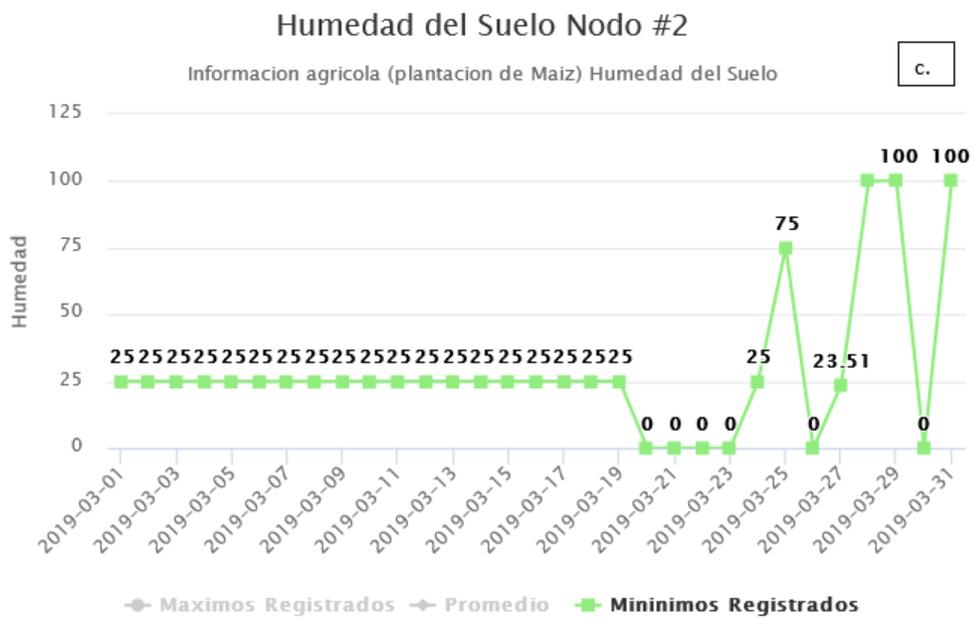
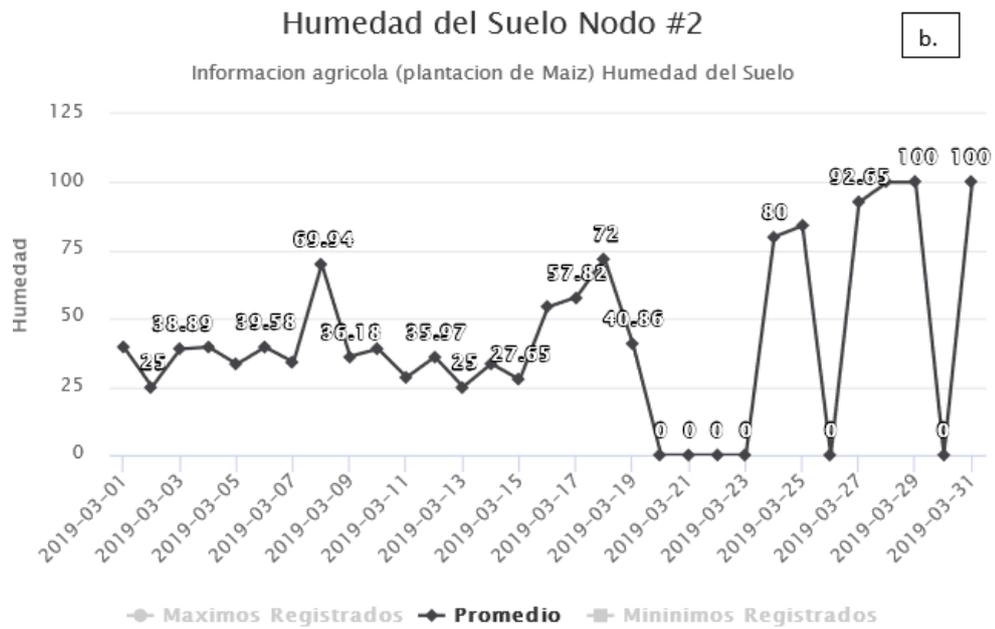


Figura A.2. Humedad del Suelo del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos

Luminosidad del Nodo Router 2:

Luminosidad Nodo #2

a.



Luminosidad Nodo #2

b.

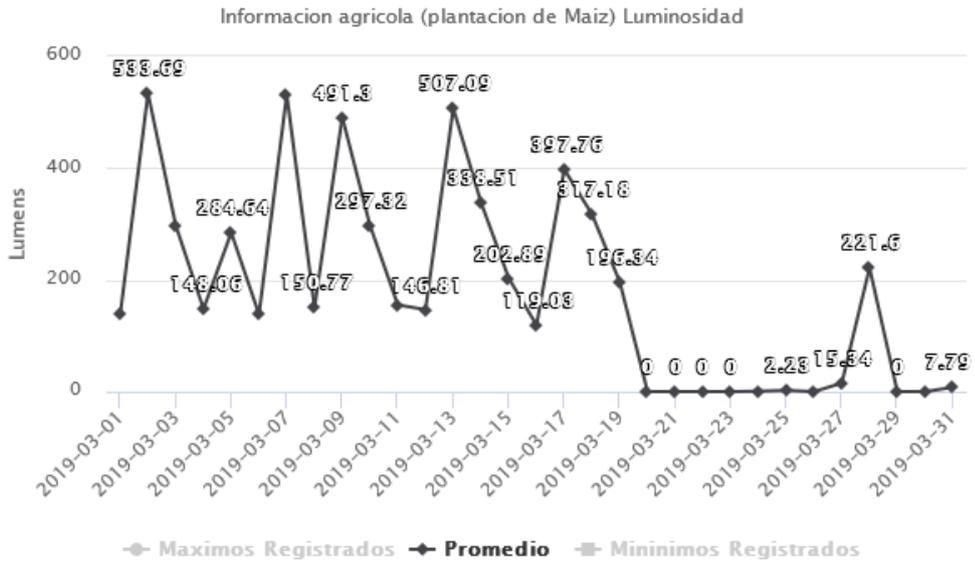
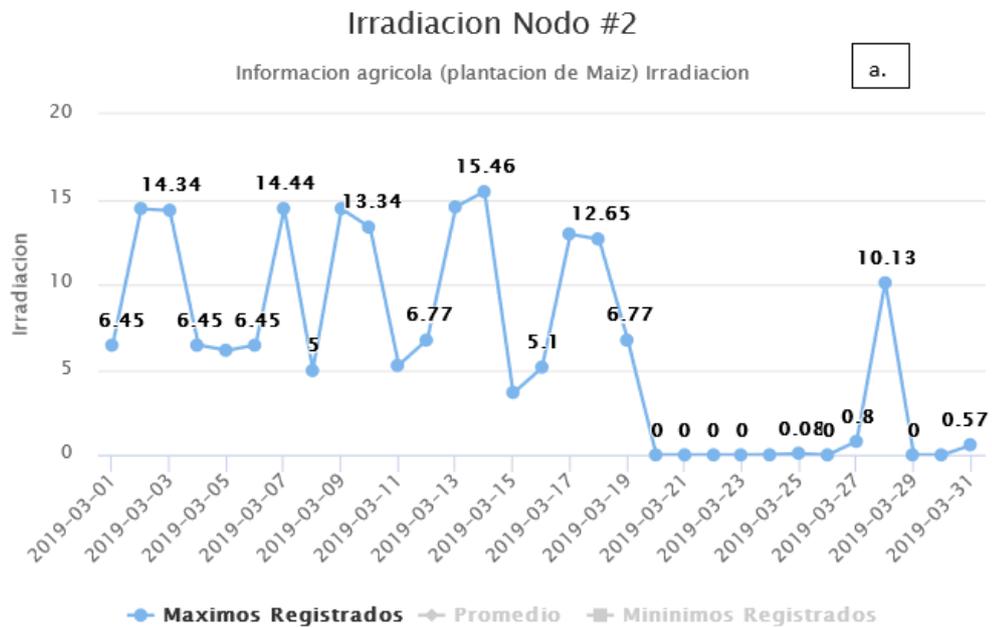




Figura A.3. Luminosidad del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos.

Radiación del Nodo Router 2:



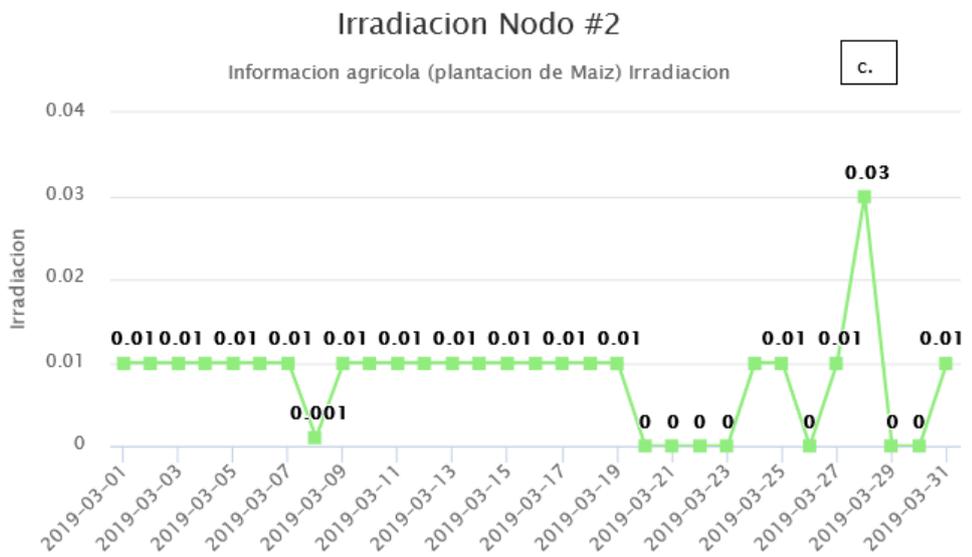
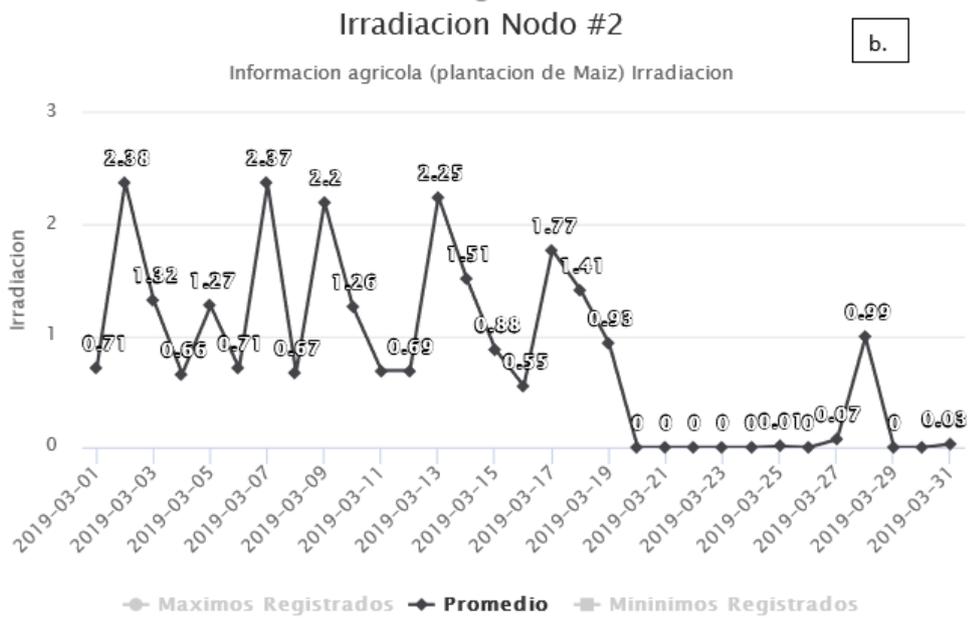


Figura A.4. Radiación del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos

Temperatura del Ambiente

Temperatura del Ambiente Nodo #2

Informacion agricola (plantacion de Maiz) Temperatura (°C)

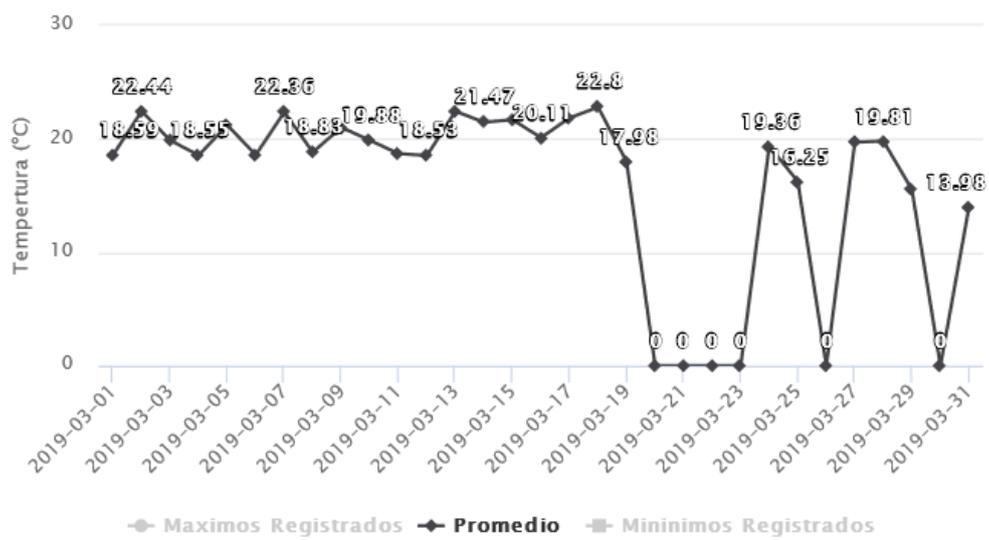
a.



Temperatura del Ambiente Nodo #2

Informacion agricola (plantacion de Maiz) Temperatura (°C)

b.



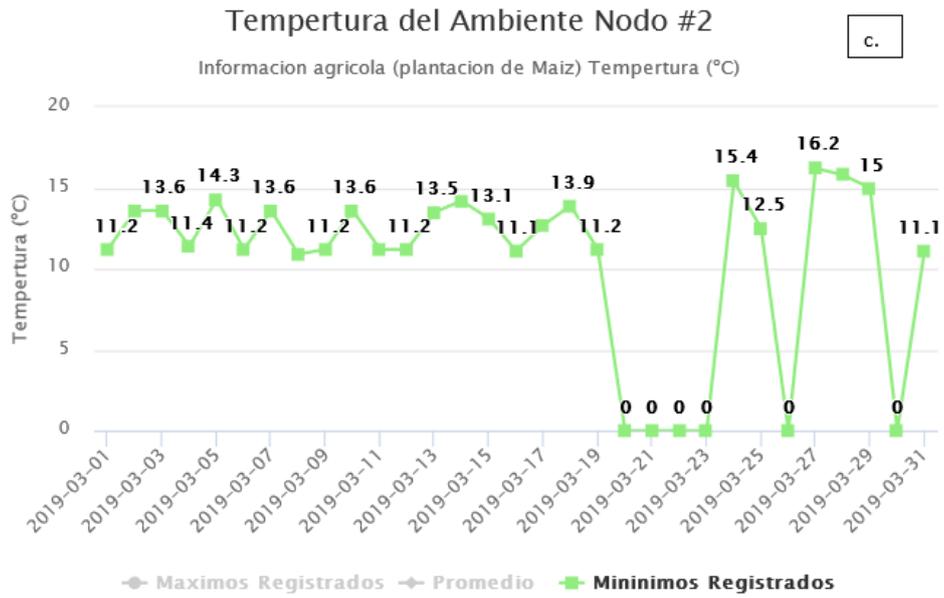
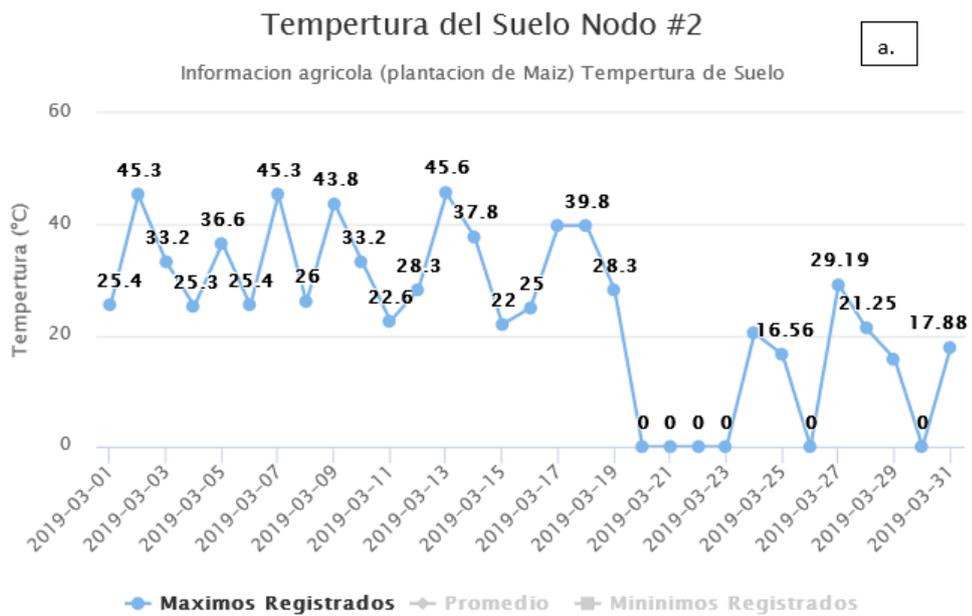


Figura A.5. Temperatura del ambiente del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos

Temperatura del Suelo Nodo Router 2:



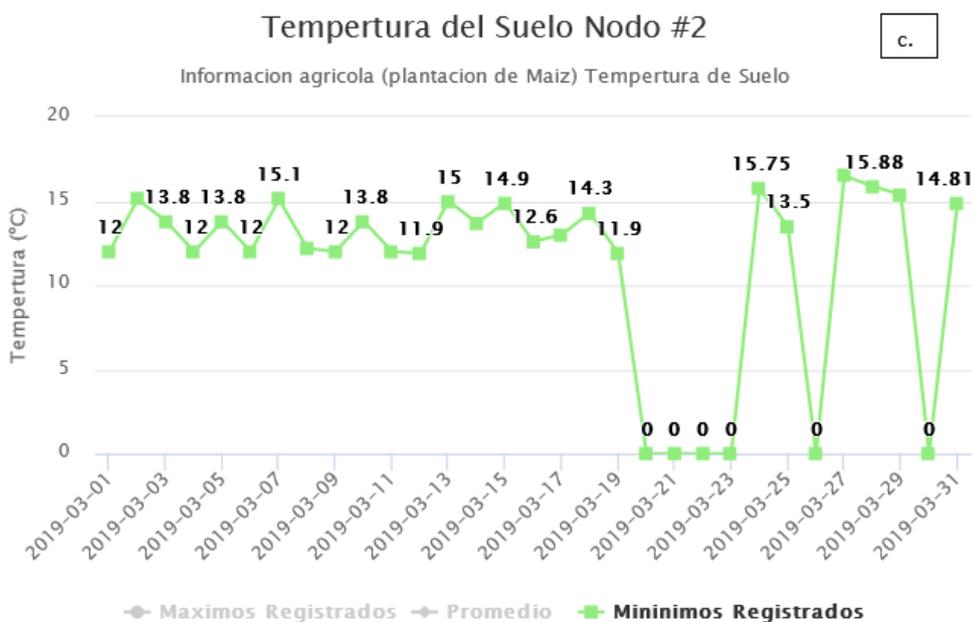
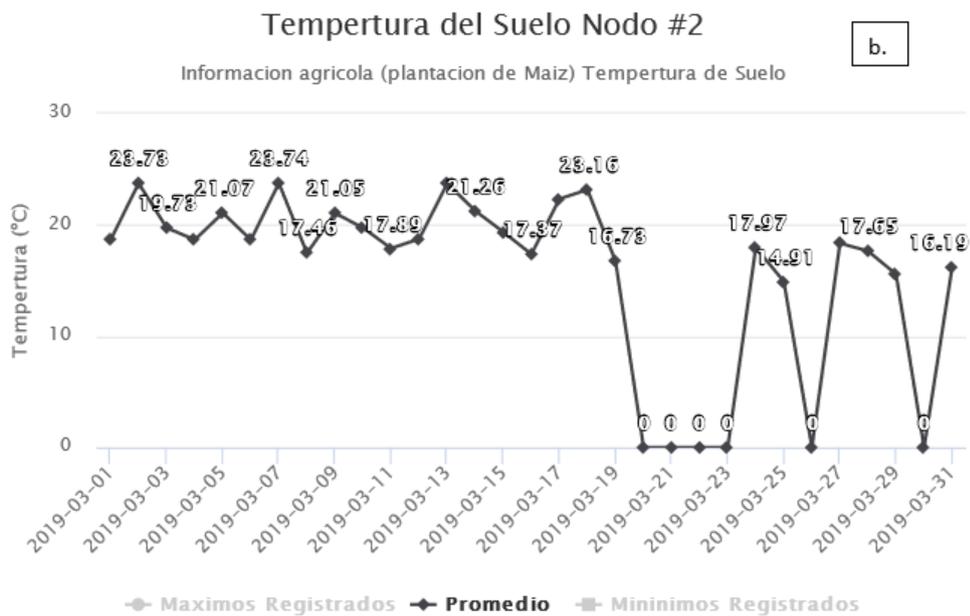


Figura A.6 Temperatura del Suelo del nodo router 2: a. máximos, b. promedio y c. mínimos