



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Implementación de una red de sensores inalámbricos para el
monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia de
Telimbela-Bolívar-Ecuador**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera en
Electrónica y Telecomunicaciones**

**Autor:
Monteros Abril Andreina Jazmin**

**Tutor:
Mgs. José Luis Jinez Tapia**

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Andreina Jazmin Monteros Abril, con cédula de ciudadanía 0202056917, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia de Telimbela-Bolívar-Ecuador, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 08 de noviembre de 2023.



Andreina Jazmin Monteros Abril

C.I: 0202056917

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado del trabajo de investigación, Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia de Telimbela-Bolívar-Ecuador, presentado por Andreina Jazmin Monteros Abril, con cédula de identidad número 0202056917, emitimos el DICTAMEN FAVORABLE, conducente a la APROBACIÓN de la titulación. Certificamos haber revisado y evaluado el trabajo de investigación y cumplida la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 08 de noviembre de 2023.

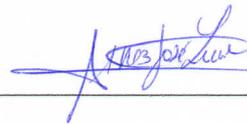
Marco Antonio Nolivos Vimos, Mgs
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Alejandra del Pilar Pozo Jara, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



José Luis Jinez Tapia, Mgs.
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación, Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia de Telimbela-Bolívar-Ecuador, presentado por Andreina Jazmin Monteros Abril, con cédula de identidad número 0202056917, bajo la tutoría del Mgs. José Luis Jinez Tapia; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 08 de noviembre de 2023.

PhD. Ciro Diego Radicelli García
Presidente del Tribunal de Grado



Mgs. Marco Antonio Nolivos Vimos
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Alejandra del Pilar Pozo Jara
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

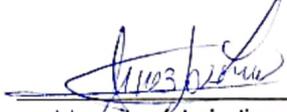




CERTIFICACIÓN

Que, **Andreina Jazmin Monteros Abril** con CC: **0202056917**, estudiante de la Carrera **Electrónica y Telecomunicaciones, NO VIGENTE**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia Telimbela-Bolívar-Ecuador"**, cumple con el **6%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 6 de noviembre de 2023


Mgs. José Luis Jinez Tapia
TUTOR

DEDICATORIA

Dedicado a Dios por haberme permitido cumplir una meta más en mi vida. A mis padres Magaly Abril y Edgar Monteros, por el apoyo incondicional. De manera especial a mi madre quien a pesar de las circunstancias y obstáculos que la vida nos pone, nunca me dejó rendirme para así lograr culminar con esta etapa de mi vida.

A mi gran amigo Gustavo Guevara quien me ha ofrecido desinteresadamente sus conocimientos, su apoyo y su paciencia en la realización de este proyecto.

Finalmente, y no menos importante a Nelvis mi amiga cuya colaboración y apoyo emocional me ayudó a mantenerme enfocada en mi objetivo.

Andreina Jazmin Monteros Abril

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por las bendiciones recibidas, por ser mi guía y protección.

Agradecimiento a mis padres por su amor, comprensión y apoyo, por ayudarme a forjar mi futuro ya que sin ellos no lo hubiera logrado.

Agradecimiento a la Universidad por permitirme avanzar con mis estudios, a mis profesores y de manera especial a mi Tutor Mgs José Luis Jinez por los conocimientos prestados, la ayuda y paciencia que me ha brindado en la realización de este trabajo que actualmente se ha culminado.

Agradecimiento a todas las personas y amigos que han estado pendientes y colaborando para lograr concretar con éxito este trabajo de investigación

Andreina Jazmin Monteros Abril

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.	17
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 Planteamiento del problema	19
1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo General	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
CAPÍTULO II.	21
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	21
2.1 Estado del arte	21
2.2 Saccharum officinarum L (Caña de azúcar).....	23
2.3 Origen de la caña de azúcar	23
2.4 Caña de azúcar en el Ecuador.....	23
2.5 Ciclo de cultivo de la caña de azúcar y factores limitantes del crecimiento.....	23
2.5.1 Amenazas en las fases de crecimiento de la caña de azúcar	24
• Primera Fase (Germinación).....	24
• Segunda Fase (Macollaje)	24
• Tercera Fase (Crecimiento)	24
• Cuarta Fase (Maduración)	25

2.5.2	Factores Edafoclimáticos que condicionan la producción de caña de azúcar	25
2.5.3	Temperatura ambiental	25
2.5.4	Humedad del suelo	25
2.5.5	pH del suelo.....	26
2.6	Redes de sensores inalámbricos en aplicaciones agrícolas.	26
2.6.1	Redes de sensores inalámbricos terrestres (TWSN).....	26
2.6.2	Redes inalámbricas de sensores subterráneos (WUSN).....	27
2.7	Internet de las Cosas	28
2.7.1	Tecnologías del IoT	29
2.8	ZigBee.....	29
2.8.1	Características ZigBee	30
2.8.2	Topologías de Red ZigBee	30
2.8.3	PAN ID ZigBee.....	31
2.8.4	Canal de Operación de ZigBee	31
2.9	Internet de las Cosas en la Agricultura	31
2.9.1	Ventajas del uso de IoT en la Agricultura.....	32
2.10	Arquitectura de red para aplicaciones agrícolas.....	32
2.10.1	Arquitectura estacionaria	32
2.10.2	Arquitectura homogénea.....	33
2.10.3	Arquitectura único nivel	33
2.11	Thingspeak	33
CAPÍTULO III.		34
3.	METODOLOGÍA.	34
3.1	Tipos de investigación.....	34
	• Investigación Bibliográfica.....	34
	• Investigación de Campo	34
	• Investigación Experimental	34
3.2	Técnicas de recolección de datos.....	34
	• Entrevista.....	34

• Observación.....	34
3.3 Población y Muestra.....	35
3.3.1 Población.....	35
3.3.2 Muestra.....	35
3.4 Hipótesis y operacionalización de variables.....	35
3.4.1 Definición de hipótesis de investigación (H).....	35
3.4.2 Variable Independiente.....	35
3.4.3 Variable dependiente.....	35
3.5 Análisis de requerimientos.....	36
3.5.1 Selección de Tecnología inalámbrica.....	36
3.5.2 Selección de hardware.....	36
3.5.3 Diseño de la red de sensores propuesta.....	50
3.5.4 Mensajes de alerta.....	55
CAPÍTULO IV.....	57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
4.1 Análisis de resultados.....	57
4.1.1 TEMPERATURA.....	58
4.1.2 HUMEDAD.....	60
4.1.3 pH.....	61
4.2 Comparativa entre valores reales y medidos.....	61
4.3 Validación de datos.....	62
4.3.1 Sensor de temperatura.....	63
4.3.2 Sensor de humedad.....	65
4.3.3 Sensor de pH.....	67
4.4 Publicación de resultados en Thingspeak.....	69
4.5 Mensajes de Alerta.....	71
CAPÍTULO V.....	72
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1 Conclusiones.....	72
5.2 Recomendaciones.....	72

BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	77
ANEXO 1. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN	77
ANEXO 2. PROGRAMACIÓN.....	78
ANEXO 3. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN.....	80
ANEXO 5. VALIDACION DE DATOS.....	81
ANEXO 4. CAJAS DE PROTECCIÓN CON LOS DISPOSITIVOS.....	82
ANEXO 5. IMPLEMENTACIÓN.....	83
ANEXO 6. DISEÑO DE PLACAS	84
ANEXO 7. ENTREVISTAS.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del cultivo de la caña de azúcar y principales fases fenológicas.	24
Figura 2. Red WSN para aplicaciones agrícolas.	27
Figura 3. Red WSN subterránea para aplicaciones agrícolas.	28
Figura 4. Topologías lógicas redes ZigBee.	31
Figura 5. Clasificación de arquitecturas de red.	32
Figura 6. Diagrama de funcionamiento de la plataforma de Thingspeak, del autor.	33
Figura 7. Arduino UNO R3 (CH340 SMD). Fuente: [35]	37
Figura 8. Modulo Xbee S2C.	38
Figura 9. Shield pro XBee Wireless Arduino UNO.	38
Figura 10. XBee Explorer adaptador mini USB, del autor.	39
Figura 11. Módulo Nodemcu Esp8266.	39
Figura 12 Sensor DHT22, del autor.	40
Figura 13. Módulo sensor de humedad del suelo FC-28, del autor.	41
Figura 14. Sensor de pH del suelo agrícola.	41
Figura 15. Módulo elevador de voltaje MT3608.	42
Figura 16. Módulo cargador de batería tipo C.	42
Figura 17. Panel Solar, del autor.	43
Figura 18. Baterías recargables 3.7V, del autor.	43
Figura 19. Creación de la cuenta Thingspeak, del autor.	44
Figura 20. Configuración de canal, del autor.	45
Figura 21. API Key del canal en Thingspeak, del autor.	45
Figura 22. Entorno de programación del IDE de Arduino.	46
Figura 23. Conexión de módulo XBee al PC, del autor.	47
Figura 24. Dispositivos agregados a XCTU, del autor.	47
Figura 25. Parámetros de configuración de módulos XBee S2C, del autor.	48
Figura 26. Enlazamiento de módulos XBee S2C, del autor.	48
Figura 27. Comunicación de módulos XBee S2C, del autor.	49
Figura 28. Diseño de caja protectora, del autor.	49
Figura 29. Diagrama de Bloques del sistema de monitoreo utilizando tecnología XBee, del autor.	50
Figura 30. Área de implementación y distribución de los nodos, autoría del autor.	51
Figura 31. Rango de comunicación entre cada nodo, autoría del autor.	52
Figura 32. Diagrama general de conexión, del autor.	53
Figura 33. Diagrama de Conexión de nodo enrutador, del autor.	54

Figura 34. Diagrama de Conexión del nodo coordinador y a su vez enrutador, del autor.....	55
Figura 35. Mensaje de CallMeBot, del autor.....	55
Figura 36. Mensaje de CallMeBot, del autor.....	55
Figura 37. Código en IDE Arduino para el módulo ESP 8266, del autor.	56
Figura 38. Base de datos ingresado en SPSS (Software de análisis de datos), del autor.....	57
Figura 39. Temperatura promedio día 6 y nodo 1, autoría del autor.....	58
Figura 40. Temperatura promedio día 7 nodo 1, autoría del autor.....	59
Figura 41. Dispositivos comerciales y aplicación móvil del tiempo de Google.	63
Figura 42. Diagrama de cajas y bigotes (Variable temperatura), del autor.	64
Figura 43. Diagrama de cajas y bigotes (Variable Humedad), del autor.....	66
Figura 44. Diagrama de cajas y bigotes (Variable pH), del autor.	68
Figura 45. Visualización de datos en Thingspeak Web, del autor.	70
Figura 46. Visualización de datos en aplicación móvil de Thingspeak, del autor.....	70
Figura 47. Mensaje de Alerta, del autor.	71

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Rangos de temperatura ambiental idóneos en cultivos de caña de azúcar.....	25
Tabla 2. Rangos de humedad del suelo idoneos en cultivos de caña de azucar.	26
Tabla 3. Tecnologías inalámbricas usadas en IoT.	29
Tabla 4. Análisis de variables dependientes e independientes, autoría del autor.	35
Tabla 5. Características de las tecnologías inalámbricas usadas en IoT.	36
Tabla 6. Características técnicas Arduino UNO R3(CH340 SMD).	37
Tabla 7. Especificaciones técnicas del módulo Xbee S2C.....	38
Tabla 8. Especificaciones técnicas del módulo Nodemcu Esp8266.....	40
Tabla 9. Especificaciones técnicas del sensor DHT22.....	40
Tabla 10. Especificaciones de sensor FC-28.	41
Tabla 11. Especificaciones técnicas del sensor de pH de suelo.	42
Tabla 12. Especificaciones técnicas del panel solar.	43
Tabla 13. Días y nodos aleatorios para el análisis, realizada por el autor.	57
Tabla 14. Estadísticos descriptivos Temperatura día 6 nodo 1, del autor.	58
Tabla 15. Estadísticos descriptivos Temperatura día 7 nodo 1, del autor.	59
Tabla 16. Estadísticos descriptivos Humedad día 5 y nodo 1, del autor.	60
Tabla 17. Estadísticos descriptivos Humedad día 4 y nodo 2, del autor.	60
Tabla 18. Estadísticos descriptivos Humedad día 7 nodo 3, del autor.	61
Tabla 19. Estadísticos descriptivos de pH día 3 nodo 2, del autor.	61
Tabla 20. Rangos óptimos de factores edafoclimáticos.	62
Tabla 21. Valores medidos, del autor.	62
Tabla 22. Rangos de medición del dispositivo comercial.	63
Tabla 23. Tabla de mediciones de temperatura, del autor.....	64
Tabla 24. Estadísticas de grupo (variable temperatura), del autor.	64
Tabla 25. Prueba de muestras independientes (Variable temperatura), del autor.....	65
Tabla 26. Tabla de mediciones de humedad, del autor.	66
Tabla 27. Estadísticas de grupo (variable humedad), del autor.....	66
Tabla 28. Prueba de muestras independientes (variable humedad), del autor.	67
Tabla 29. Tabla de mediciones de pH, del autor.....	68
Tabla 30. Estadísticas de grupo (variable pH), del autor.	68
Tabla 31. Prueba de muestras independientes (variable pH), del autor.	69
Tabla 32. Descripción de los costos de implementación del sistema.....	77

RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata sobre la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN), para monitorear los niveles de humedad del suelo, acidez del suelo (pH) y temperatura ambiente dentro de un cultivo de caña de azúcar ubicado en la parroquia de Telimbela perteneciente a la provincia Bolívar -Ecuador.

La red se compone de tres nodos con topología tipo árbol, así pues, un nodo se configura como coordinador, mientras que los otros dos nodos se configuran como enrutadores, usando tecnología ZigBee. Cada nodo cuenta con sensores específicos encargados de adquirir datos del medio físico, tales como, temperatura ambiente, humedad del suelo y pH (medida de acidez o alcalinidad) del suelo, factores que, en cada una de las fases de crecimiento de la caña de azúcar deben estar dentro de ciertos rangos de valores considerados como óptimos. Los datos adquiridos por los sensores se envían, almacenan y se visualizan en la plataforma para el Internet de las Cosas (IoT) llamado Thinkspeak a través de un módulo WiFi (Esp8266). A su vez, con la ayuda de la API gratuita para enviar mensajes de Texto denominada CallMebot, se crean mensajes de alerta para ser enviados al número de WhatsApp del usuario una vez que los niveles se encuentren fuera del rango óptimo, con el fin de que se pueda tomar acciones correctivas dentro del cultivo. Asimismo, cada uno de los nodos, dispone de paneles solares y baterías que permiten el almacenamiento de energía necesario para que el sistema de monitoreo funcione durante el período de adquisición de datos. Además, se realiza la impresión 3D de cajas de plástico para que los dispositivos electrónicos se mantengan protegidos de lluvia y tierra. Por su parte, como escenario de prueba y validación de la red de sensores inalámbricos se utiliza un área de $100m^2$ de terreno cultivado con caña de azúcar, perteneciente a un agricultor del sector.

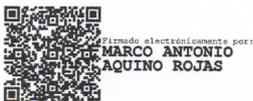
Finalmente, se lleva a cabo un análisis a las lecturas que se obtuvieron del medio físico y mediante el analizador estadístico SPSS se determinan los valores máximos, mínimos y el valor promedio de las mediciones adquiridas por los sensores. Así pues, a través de una comparación entre valores medidos y reales se observa si la temperatura ambiental, la humedad del suelo y el pH del suelo se encuentran dentro o fuera del rango idóneo, asimismo, mediante un análisis estadístico se efectúa la validación de las lecturas adquiridas por la red de sensores inalámbricos, usando datos proporcionados por dispositivos comerciales y por la aplicación del tiempo de Google.

Palabras claves: WSN, pH, ZigBee, Telimbela, Thinkspeak, Topología árbol.

ABSTRACT

The main objective of this research study was to deal with the implementation of a wireless sensor network (WSN) to monitor the levels of soil moisture, soil acidity (pH), and ambient temperature in a sugar cane crop located in the parish of Telimbela in the province of Bolivar -Ecuador. The network consists of three nodes with tree topology, so one node is configured as a coordinator, while the other two nodes are configured as routers, using ZigBee technology. Each node has specific sensors in charge of acquiring data from the physical environment, such as ambient temperature, soil humidity, and pH (a measure of acidity or alkalinity) of the soil, factors that, in each of the sugar cane growth phases, must be within certain ranges of values considered optimal. The data acquired by the sensors are sent, stored, and visualized on the Internet of Things (IoT) platform called Thinkspeak via a WiFi module (Esp8266). At the same time, with the help of the free API for sending text messages called CallMeBot, alert messages are created to be sent to the user's WhatsApp number once the levels are outside the optimal range so that corrective actions can be taken within the crop. In addition, each of the nodes has solar panels and batteries that provide the energy storage necessary for the monitoring system to operate 3D printing of plastic boxes is being carried out to keep the electronic devices protected during the data acquisition period. Finally, an analysis of the readings was obtained. Thus, through a comparison between measured and actual values, it is observed whether the ambient temperature, soil moisture, and soil pH are within or outside the ideal range. Likewise, through statistical analysis, the readings acquired by the wireless sensor network are validated using data provided by commercial devices and by the Google weather application.

Keywords: WSN, pH, ZigBee, Telimbela, Thinkspeak, Tree topology.



Reviewed by:

Mgs. Marco Antonio Aquino

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 1753456134

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica contribuye en las actividades diarias de manera que el desarrollo de estas actividades se vuelve más eficientes, en este sentido los procesos automatizados en la agricultura han permitido que se realicen tareas sin intervención del ser humano, existen investigaciones realizadas con el fin de acortar recursos como tiempo de trabajo, agua, etc. [1], [2]

El internet de las cosas (IoT), ha logrado transformar y mejorar los procesos en la agricultura con el uso de sensores que miden desde humedad, hasta el reconocimiento de plagas [2], [3]. A través del empleo de una tecnología inalámbrica en el área del IoT, los nodos de la red reciben y envían información luego notifican al usuario para comenzar o finalizar los procesos [4].

Un diseño de prototipo para el riego automático con el objetivo de controlar el uso del agua a través de sensores fue presentado por estudiantes de la Universidad de Guayaquil, el cual permite conocer y comprender el funcionamiento de los sensores de humedad, así como, el proceso que se debe llevar a cabo para la calibración de sensores y su lectura en tiempo real [1]. Por otra parte, el trabajo presentado por H. Mora y J. Rosas de la Universidad Ricardo Palma, proporciona información que facilita comprender el acondicionamiento necesario para que los sensores envíen la información a un concentrador y, este a su vez, se conecte a internet por medio de un Router inalámbrico [1], [2]

Actualmente existen diversos tipos de tecnologías enfocadas a la automatización del sector agrícola, sin embargo, en el Ecuador aún existen falencias debido al desconocimiento de dichas tecnologías. Cabe resaltar que en el país las actividades agrícolas se realizan de forma manual es decir el agricultor gasta mucho de su tiempo dedicado a sus cultivos y no optimiza recursos [2].

Es importante señalar que para aplicaciones de agricultura existen varios protocolos de comunicación inalámbrica, entre los que se incluyen, Zigbee, Bluetooth y Wi-Fi. ZigBee define los protocolos de la capa de red y aplicación según las definiciones de la capa física y MAC del estándar IEEE 802.15.4, las cuales se requirieron para diseñar una red de área personal inalámbrica (WPAN), al ser eficiente en energía, de bajo costo y confiable, la tecnología ZigBee es preferida para aplicaciones basadas en redes de sensores inalámbricos (WSN) en los dominios agrícolas [5].

En específico, el presente proyecto nace de una visita personal a la parroquia de Telimbela, zona subtropical, perteneciente a la provincia de Bolívar en donde se pudo apreciar que la gran mayoría de sus pobladores se dedican al trabajo agrícola, siendo el cultivo de la caña de azúcar la fuente principal de ingresos económicos para la población, en efecto el obtener la máxima producción es uno de los objetivos primordiales para los agricultores, y una de las maneras de lograrlo es a través de un monitoreo y control de los factores que influye en el crecimiento de la planta de manera adecuada, y en el tiempo oportuno [6]. Por tal motivo, el propósito de este trabajo es la implementación de una red de sensores (Terreno de un agricultor del sector), para el monitoreo de variables (humedad del suelo, temperatura ambiente y pH del suelo) consideradas en el proceso de desarrollo de la caña de azúcar mediante el uso de una tecnología de comunicación que permita una conexión de red y transmisión de datos de forma inalámbrica. En este sentido, el agricultor podrá monitorear los niveles de humedad del suelo, pH del suelo y temperatura ambiente existentes en el área del cultivo ya sea en la página web o aplicación móvil Android de la plataforma Thingspeak, de este modo en caso de que dichos niveles se encuentren fuera de los valores considerados como óptimos, aplicará acciones correctivas a fin de evitar pérdidas de producción.

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los inconvenientes en la producción agrícola de caña, es el desconocimiento de los niveles idóneos de humedad, pH y temperatura. Estos factores influyen directamente en cada etapa del ciclo de crecimiento de la caña, por lo que es necesario realizar un monitoreo y control efectivo de las variables en mención. En específico, en la zona de Telimbela el agricultor mide la humedad de la tierra haciendo uso de su dedo o de un palo, si este sale muy mojado significa que hay exceso de agua, por lo que, se riega cal por toda la planta para evitar la presencia de hongos o babosas, caso contrario, se asume que existe falta de agua y se pone en funcionamiento un sistema de riego por aspersión, además, para medir variables como el pH no disponen de ningún método.

Por consiguiente, la forma artesanal de monitoreo de los cultivos se vuelve poco confiable y limitada. Esto influye de forma directa en la producción, puesto que, si no se lleva un control adecuado y oportuno dentro de los cultivos, estos pueden sufrir afecciones como, por ejemplo, poco nivel de azúcar, crecimiento lento, inclusive la muerte de la planta entre otras más, provocando que la producción de caña de azúcar se vuelva poco rentable [7].

Analizando estos factores se propone el diseño de un sistema para el monitoreo de humedad del suelo, pH del suelo y temperatura ambiente. Estos datos servirán para realizar un análisis periódico que permita determinar si las variables en mención presentan una baja concentración o se mantienen en su nivel adecuado. Posterior al análisis, los datos obtenidos proporcionarán alertas sobre porcentajes necesarios para el desarrollo de la planta, lo que permitirá al agricultor la toma de decisiones en tiempos prudentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Implementar una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia Telimbela-Bolívar-Ecuador.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos para el diseño de la red de sensores inalámbricos.
- Implementar una red de sensores inalámbricos, para el monitoreo de las variables humedad, pH y temperatura en la parroquia Telimbela.
- Verificar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de campo.
- Publicar los datos obtenidos de los sensores en la página web y aplicación móvil pertenecientes a la plataforma para el internet de las cosas Thingspeak.

CAPÍTULO II.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1 Estado del arte

Existen diferentes trabajos de investigación que aportan al desarrollo tecnológico en el campo agrícola, algunos de ellos se citan a continuación.

En el trabajo de titulación [8], denominado “IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE FACTORES ABIOTICOS Y BIOTICOS PARA DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE PAPAS MEDIANTE UNA RED DE SENSORES” realizado en el año 2022, es un sistema telemétrico que detecta los cambios de temperatura y humedad tanto del ambiente como del suelo además también controla los rangos óptimos de los factores medio ambientales para una producción óptima de papas. El sistema se compone de dos nodos, uno de ellos tiene la función de actuador comprendido por un sensor LM-y el otro de coordinador. La comunicación es por medio de módulos Xbee S2 a una distancia de 40m, vinculados a módulos Arduino UNO y también trabaja juntamente con la plataforma de IOT llamada THINGSPEAK la cual le permite almacenar y visualizar los datos obtenidos.

Con el objetivo de ahorrar agua y tiempo en el trabajo que desarrollan los agricultores, existen trabajos de investigación que han desarrollado sistemas para la automatización aplicando el IoT, entre los cuales se destacan los siguientes: El diseño de un prototipo para el riego automático controlando el uso del agua por medio de sensores en los cultivos y sembríos de la hacienda “Katty Lucy”. Este trabajo permite conocer y comprender el funcionamiento de los sensores de humedad, así como, el proceso que se debe llevar a cabo para la calibración de sensores y su lectura en tiempo real [1]. Por otra parte, un trabajo importante también es la investigación presentada por los autores H. Mora y J. Rosas en la universidad Ricardo Palma, donde se desarrolla un dispositivo electrónico con sensores de temperatura, humedad de suelo, humedad de ambiente, presencia de lluvia y cantidad de CO₂, que se conectó a internet para generar una red de sensores inalámbricos basado en IoT. Este trabajo permite comprender el acondicionamiento necesario para que los sensores envíen la información a un concentrador y, este a su vez, se conecte de forma inalámbrica por medio de Wi-Fi a internet mediante un Router [9].

En el proyecto propuesto en [10] se crea una solución técnica basada en el Internet de las Cosas (IoT) para contribuir a la industria agrícola a prevenir las pérdidas de cosechas provocadas por el cambio climático. De manera que, el sistema sugerido consta de algunas

estaciones de monitorización tanto dentro como fuera del invernadero. Donde, cada una de ellas se equipa con distintos sensores para la cuantificación de magnitudes. Entre las que se encuentran: la temperatura; la humedad relativa; la humedad del suelo; la velocidad y la dirección del viento; las precipitaciones; la radiación; el pH y la electro-conductividad.

En consonancia con lo anterior, el microcontrolador LinkIt Smart 7688 Duo preprocesa y almacena de forma temporal los datos producidos por los sensores. A continuación, estos datos se transmiten de manera inalámbrica a la plataforma Thingier.io a través del módulo Wi-Fi integrado en las estaciones. Es aquí donde se procesan, examinan y se muestran en un gráfico en tiempo real. De manera que, los usuarios autorizados tienen acceso a esta plataforma y pueden ver los datos recogidos desde cualquier dispositivo electrónico con conexión a Internet. Asimismo, se respeta las normas de seguridad para garantizar la protección del sistema.

En el estudio descrito en [11], se diseña e implementa un conjunto de mecanismos de monitorización del crecimiento de la caña de azúcar basados en RFID y ZigBee. Estos sistemas se utilizan para la supervisión de la red a través de Internet en tiempo real, aprovechando el Internet de las cosas y las tecnologías de procesamiento de imágenes de vídeo. Por otro lado, el esquema de supervisión y análisis del crecimiento de la caña de azúcar propuesto emplea la estructura del sistema central del Internet de las Cosas. Este posee la capa de percepción, la capa de transporte y la capa de aplicación.

En la investigación expuesta en [12], se propone un enfoque innovador para la agricultura inteligente. Por ello, se realiza la conexión de un sistema de detección ingenioso que utiliza tecnología de comunicación inalámbrica. De manera que, el método se centra en la medición de factores físicos como: el contenido de humedad del suelo; el contenido de nutrientes y el pH del suelo, todos ellos importantes en las actividades agrícolas.

El estudio propuesto en [13], describe una tecnología de vanguardia capaz de recopilar, analizar, predecir y detectar datos heterogéneos en el cultivo de fresas. La plataforma de IoT sugerida combina varios servicios de monitorización. El sistema enlaza y controla los dispositivos del Internet de las Cosas (IoT) para evaluar los datos ambientales y agrícolas. Además, un modelo de visión por ordenador construido con la arquitectura Yolo v5 busca en tiempo real siete de las enfermedades más frecuentes de la fresa. El sistema permite la comunicación LoRa para la transmisión de datos a larga distancia entre los nodos.

El trabajo presentado en [14], caracteriza un modelo para la monitorización continua del cultivo de la caña de azúcar mediante algunos parámetros como: humedad y temperatura. Estos últimos son responsables del crecimiento saludable del cultivo. Además, se utilizan

clasificadores KNN y Space Vector Machine para diagnosticar infecciones en intervalos regulares de imágenes. La recopilación de datos en tiempo real se transmite a la estación base a través de un medio inalámbrico.

2.2 Saccharum officinarum L (Caña de azúcar)

La caña de azúcar es considerada como una gramínea (Planta leñosa) de clase tropical, requieren de altas temperaturas durante el período de crecimiento y de bajas temperaturas durante el período de maduración. Produce de 4 a 12 tallos que crecen hasta alcanzar 3 a 5 metros de altura, el tallo leñoso está lleno de un tejido esponjoso muy dulce [15].

2.3 Origen de la caña de azúcar

Su aparición es muy antigua y no existen datos concretos de cuando inicia su siembra. Según algunos historiadores en la conquista de la India en el año 337 a.c., probaron por primera vez caña de azúcar y la llevaron a Persia. Los árabes la llevaron al norte de África y al sur de Europa, posteriormente al tiempo que los chinos extendían los cultivos hacia Java y Las Filipinas, los cruzados la transportaban a Francia y se fue extendiendo su comercio en todo Europa. Así pues, en tiempos de la conquista de América los españoles y portugueses fueron plantando la caña de azúcar en sus colonias[16].

2.4 Caña de azúcar en el Ecuador

En el Ecuador el cultivo de caña de azúcar se encuentra concentrado en varias regiones geográficas, esta diversidad de ambientes ofrece condiciones favorables o desfavorables para este cultivo.[17]

La caña de azúcar es un cultivo que ha tenido una gran importancia, el procesamiento industrial está dirigido a la fabricación de alcohol, melaza, panela y en especial la azúcar el cual es un producto que forma parte de la canasta básica de los ecuatorianos[7].

2.5 Ciclo de cultivo de la caña de azúcar y factores limitantes del crecimiento

La caña de azúcar es un cultivo semiperenne y el ciclo de crecimiento suele ser de 12 a 18 meses antes de la cosecha. El ciclo de crecimiento varía en cada país según la variedad, las condiciones de cultivo locales y los parámetros geográficos [18].

Las cuatro etapas principales de crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar incluyen, la germinación y establecimiento; macollamiento; gran crecimiento y maduración. Las cuatro fases fenológicas se muestran en la Figura 1. Además de las condiciones climáticas favorables, cada fase requiere actividades específicas de manejo del cultivo y un suministro de diferentes nutrientes y agua, para que exista una productividad óptima [18].

La Figura 1 permite comprender mejor las principales amenazas y factores limitantes del crecimiento durante las cuatro etapas del cultivo de la caña de azúcar. Surgen muchos problemas críticos para la salud de la caña de azúcar, principalmente debido a factores geográficos (es decir, lluvia, temperatura y luz) que están fuera del control humano [19].

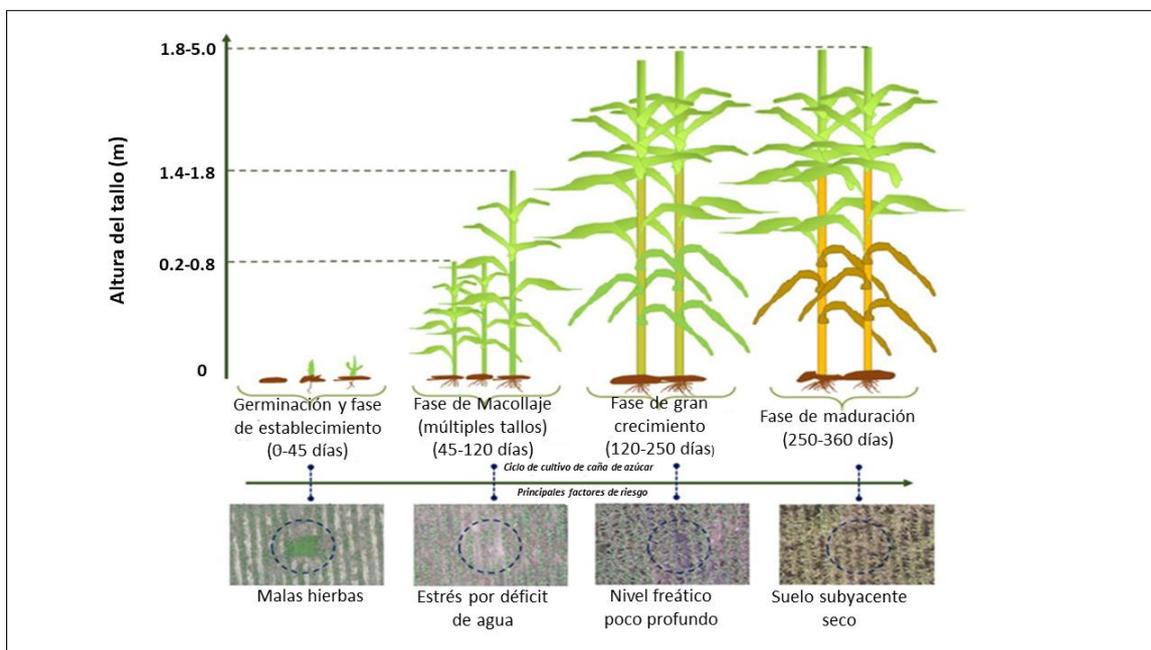


Figura 1. Ciclo del cultivo de la caña de azúcar y principales fases fenológicas.

2.5.1 Amenazas en las fases de crecimiento de la caña de azúcar

- **Primera Fase (Germinación)**

Las malezas son una amenaza crítica en la primera fase de crecimiento de la caña de azúcar, ya que compiten por los nutrientes con las nuevas raíces de la caña de azúcar [19]. Las temperaturas bajas y altas, junto con los volúmenes de lluvia contribuyen a un suelo más seco o húmedo, lo que afecta a los brotes y da como resultado un crecimiento reducido. Asimismo, las raíces y el crecimiento de los brotes primarios son muy vulnerables a enfermedades y plagas [18].

- **Segunda Fase (Macollaje)**

El estrés por déficit de agua es un problema importante que provoca un menor crecimiento de los brotes y un rendimiento reducido, mientras que, las malezas y las plagas siguen siendo amenazas. Además, el estrés nutricional también juega un papel importante en el crecimiento de la caña de azúcar [20].

- **Tercera Fase (Crecimiento)**

El aumento de la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, como sequías, inundaciones y tormentas, afectan la productividad con una menor altura del tallo (1,2–1,5 m) y un diámetro reducido, mientras que, la temperatura del aire y la luz solar también son importantes para el crecimiento de la biomasa [18].

- **Cuarta Fase (Maduración)**

El crecimiento de la caña de azúcar se ve fuertemente afectado por variables meteorológicas como la temperatura del aire, las precipitaciones, la humedad del suelo y la radiación solar. La variabilidad climática causa daños como la reducción de la acumulación de sacarosa en los tallos y una menor calidad del jugo [21].

2.5.2 Factores Edafoclimáticos que condicionan la producción de caña de azúcar

Edafoclimático es una palabra poco común en el léxico de los agricultores, pero de una u otra forma se utiliza constantemente. “Edafoclimático” se refiere a suelo y clima.

En la producción de caña de azúcar factores como la temperatura ambiental, humedad del suelo y pH durante las cuatro fases del cultivo influyen directamente en el crecimiento [7].

2.5.3 Temperatura ambiental

La caña de azúcar es una planta tropical o subtropical es decir se desarrolla en lugares calientes. Cuando prevalecen las temperaturas altas durante su desarrollo la caña de azúcar alcanza un alto crecimiento [22]. Los niveles óptimos durante las cuatro fases de crecimiento de la planta se muestran en la Tabla 1. Rangos de temperatura ambiental idóneos en cultivos de caña de azúcar.

Tabla 1. Rangos de temperatura ambiental idóneos en cultivos de caña de azúcar.

Rangos de Temperatura ambiental	
FASES	ÓPTIMA
Germinación	24°C a 37°C
Macollaje	21°C 30°C
Crecimiento	30°C a 38°C
Maduración	14°C a 18°C

2.5.4 Humedad del suelo

Para que el crecimiento de la caña de azúcar sea rápido, es necesario que la humedad sea relativamente alta. Los agricultores no deben esperar altos rendimientos si existe falta de humedad ya que en este caso la planta tiende a secarse, a crecer lento, a contraer

enfermedades fungicidas y los niveles de azúcar disminuyen. Así pues, si no existe suficiente humedad se debe implementar sistemas de riego.

Por otra parte, cuando el cultivo se encuentra en la fase de maduración es importante la reducción de los niveles de humedad para que la planta pueda producir más azúcar [22]. Los niveles óptimos durante las cuatro fases de crecimiento de la planta se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Rangos de humedad del suelo idoneos en cultivos de caña de azúcar.

Rangos de Humedad del suelo	
FASES	ÓPTIMA
Germinación	80% a 85%
Macollaje	80% a 85%
Crecimiento	80% a 87%
Maduración	50% a 65%

2.5.5 pH del suelo

La caña de azúcar se cultiva en la mayoría de los suelos, pero para un adecuado crecimiento de la planta el valor de pH óptimo está en el intervalo de 6 a 7. En cultivos con mayor acidez la planta tiende a producir menos azúcar. Durante la etapa de crecimiento el cultivo es sensible a la sal, por consiguiente, la salinidad del suelo provoca estrés hídrico, manifestándose como marchitamiento, quemaduras en las hojas, lento crecimiento e incluso la muerte de la planta [22].

2.6 Redes de sensores inalámbricos en aplicaciones agrícolas.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN), son redes de sensores alimentados por batería, interconectados a través de un medio inalámbrico, que se implementan para cumplir un propósito de aplicación específico. En este sentido, existen dos variantes de WSN ampliamente utilizadas en actividades agrícolas, siendo una las redes de sensores inalámbricas terrestres (TWSN) y dos las redes de sensores subterráneas inalámbricas (WUSN) [23], las cuales se describen a continuación.

2.6.1 Redes de sensores inalámbricos terrestres (TWSN).

En las TWSN, los nodos se despliegan sobre la superficie del suelo, donde, cada nodo posee sensores de bajo costo. Estos sensores habilitan un nodo sensor para recopilar los datos circundantes con precisión. Es así como, en base en la información detectada, los nodos se

conectan entre sí para cumplir con los requisitos de la aplicación. Por ejemplo, en un entorno de agricultura de precisión donde las WSN se implementan en todo el campo para automatizar el sistema de riego. Los sensores determinan el contenido de humedad del suelo, de tal forma que, se determina el tiempo y la duración del riego sobre el campo. Por otra parte, este resultado se transmite al nodo sensor, que se encuentra conectado a una bomba de agua, para que empiece el riego [24].

La Figura 2 muestra una red típica de sensores inalámbricos desplegada en el campo para aplicaciones agrícolas. El campo consta de nodos con sensores integrados específicos de la aplicación, donde, los nodos de la red se comunican entre sí, mediante enlaces de radiofrecuencia (RF) de bandas de radio industriales, científicas y médicas (ISM). Además, también se implementa un nodo de puerta de enlace junto con los nodos sensores para permitir una conexión entre la red de sensores y el mundo exterior.

En contraste, un usuario remoto puede monitorear el estado del campo, así como, controlar los sensores y dispositivos actuadores en el campo. Tal es el caso de que un usuario puede encender/apagar una bomba/válvula cuando el nivel de agua aplicado al campo alcanza un valor de umbral predefinido. En este sentido, los usuarios que lleven un teléfono móvil también pueden monitorear y controlar de forma remota los sensores en el campo [24].

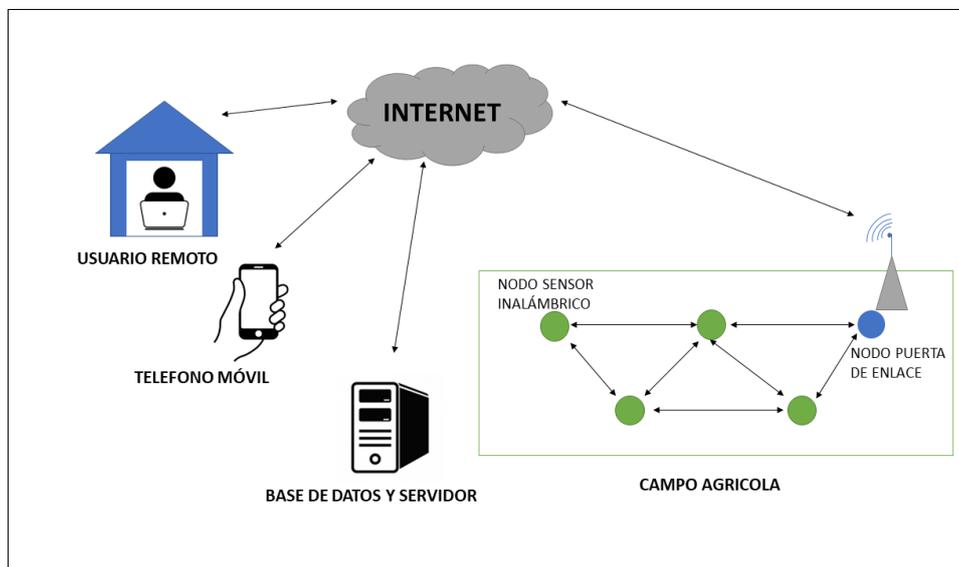


Figura 2. Red WSN para aplicaciones agrícolas.

2.6.2 Redes inalámbricas de sensores subterráneos (WUSN).

En esta versión de las WSM, los sensores inalámbricos se plantan dentro del suelo, las frecuencias más altas sufren una atenuación severa y las frecuencias comparativamente más

bajas pueden penetrar a través de este [25]. Por lo tanto, el radio de comunicación se limita y la red requiere una mayor cantidad de nodos para cubrir un área grande.

La aplicación de sensores cableados aumenta la cobertura de la red al requerir un número relativamente menor de sensores. Sin embargo, en este diseño, los sensores y los cables pueden ser vulnerables a las actividades agrícolas.

En la Figura 3, se muestra una aplicación agrícola típica basada en redes de sensores subterráneas. A diferencia de las aplicaciones basadas en TWSN, los nodos sensores están enterrados dentro del suelo. También se implementa un nodo de puerta de enlace para transmitir la información recopilada por los sensores, al sumidero colocado sobre el suelo. Posteriormente, la información se puede transmitir a través de Internet para almacenarla en bases de datos remotas y, de esta forma, notificar a un usuario que lleva un teléfono celular. Sin embargo, debido a la distancia de comunicación comparativamente más corta, se requiere implementar una mayor cantidad de nodos para su uso en WUSN [26].

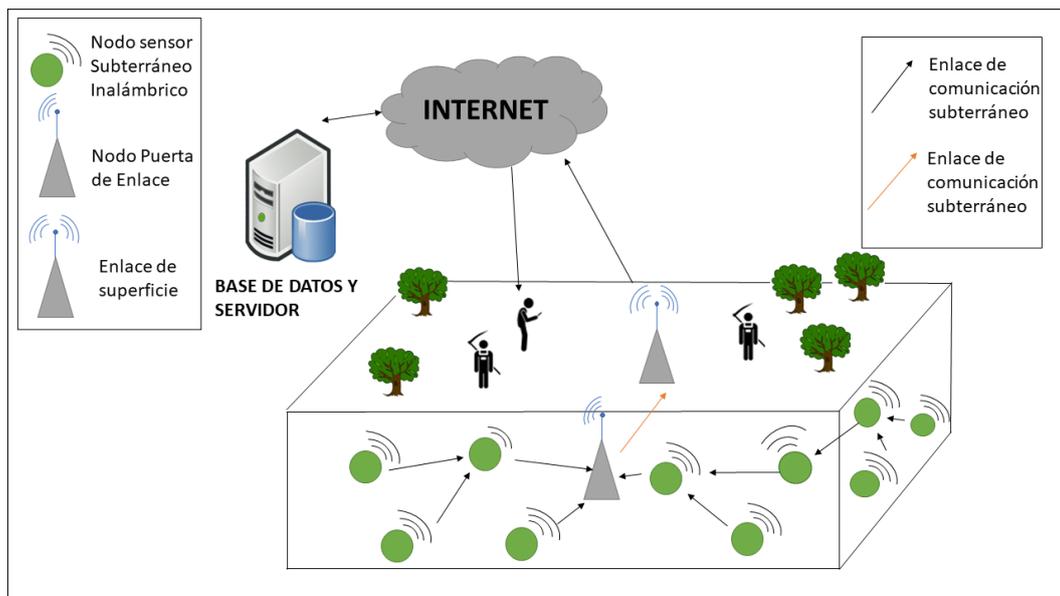


Figura 3. Red WSN subterránea para aplicaciones agrícolas.

2.7 Internet de las Cosas

El internet de las cosas (IOT) se refiere al universo de pequeños dispositivos conectados y a la tecnología que facilita la comunicación inalámbrica entre estos dispositivos y la nube. A través del uso de sensores y redes de comunicación apropiados, estos dispositivos conectados pueden proporcionar datos valiosos y a su vez ofrece múltiples servicios para las personas[27].

2.7.1 Tecnologías del IoT

Las redes en IoT por lo general son inalámbricas debido a la conveniencia de su despliegue. Actualmente, existen diversos protocolos como por ejemplo 3G, 4G, WiFi, Bluetooth y ZigBee. En la tabla se visualiza los rangos y potencia para las tecnologías WiFi, Bluetooth y ZigBee, lo que permite inferir una cobertura suficiente para dar tratamiento a diversos casos de aplicación [28].

Tabla 3. Tecnologías inalámbricas usadas en IoT.

Tecnología	Rango(m)	Potencia
WiFi	50-100	Alta
Bluetooth	10	Baja
ZigBee	10-100	Muy Baja

2.8 ZigBee

Se denomina ZigBee a un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicaciones inalámbricas basado en el estándar 802.15.4, definido por el IEEE, misma que opera en la frecuencia 2.4GHz en todo el mundo. Los dispositivos habilitados para ZigBee tienen un ciclo de trabajo bajo, por lo tanto, son adecuados para aplicaciones agrícolas[29], donde se requiere una actualización periódica de la información, también ofrece un bajo consumo eléctrico y a diferencia de Wi-Fi y Bluetooth este protocolo ofrece una menor tasa de transferencia de datos. Por otra parte, ZigBee soporta tres dispositivos que son: Coordinador ZigBee, Router ZigBee y dispositivo final ZigBee[30].

Cordinador ZigBee: Es el dispositivo central y existe uno por red, administra y controla los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos. Por otra parte, está en la capacidad de almacenar la información de la red.

Router ZigBee: Este mediante técnicas de encaminamiento y direccionamiento permite la interconexión entre los diferentes dispositivos.

Dispositivo Final ZigBee: Es un elemento pasivo de la red capaz de enviar o recibir paquetes, pero no tiene capacidad de enrutar, dispone de la funcionalidad de responder a peticiones de dispositivos superiores (Coordinador o router). Debido a los requerimientos mínimos de memoria su batería puede durar años.

2.8.1 Características ZigBee

- Baja capacidad de transmisión, en torno a 250 Kbps, permite desarrollar sistemas de bajo coste.
- Protocolo sencillo, pudiendo ser implementado sin ningún tipo de limitación en microcontroladores de 8 bits.
- Bajo consumo energético permitiendo que la fuente de alimentación del sistema pueda durar años.
- Limitado por 65535 dispositivos divididos en subredes de 255, las cuales se comunicarán entre ellas por medio del coordinador de la red
- Permite realizar una encriptación de datos de 128 bits.

2.8.2 Topologías de Red ZigBee

Dentro de una red ZigBee se realiza una conexión lógica entre los nodos de la red, mas no una distribución física. La elección de la topología dependerá de los requisitos funcionales que el sistema posee.

Existen 3 tipos de topologías definidas en las WSN y de acuerdo con los requisitos de la red se debe elegir la topología adecuada.

- **Topología Estrella (Star)**

La comunicación es centralizada, posee un solo nodo coordinador, los nodos o dispositivos que quieran comunicarse entre sí, deberán enviar primero la información al coordinador y este se encargará de la conexión con el dispositivo correspondiente.

- **Topología Árbol (Cluster Tree)**

En este tipo de topología el coordinador es quien establece la red inicial, los routers definen las ramas de la red y a su vez se encargan de la transmisión de los paquetes de datos y finalmente los Dispositivos finales (hojas del árbol) se encargan de tomar las muestras y enviar a los routers.

- **Topología Malla (Mesh)**

La característica principal de este tipo de topología de red es que todos los dispositivos o nodos están conectados entre sí, ramificando otros dispositivos o nodos. Los dispositivos están conectados de tal modo que se crean múltiples rutas a otros nodos aumentando la resistencia de la red en caso de que falle su conexión.

La Figura 4 ilustra la distribución de cada una de las topologías lógicas de las redes ZigBee.

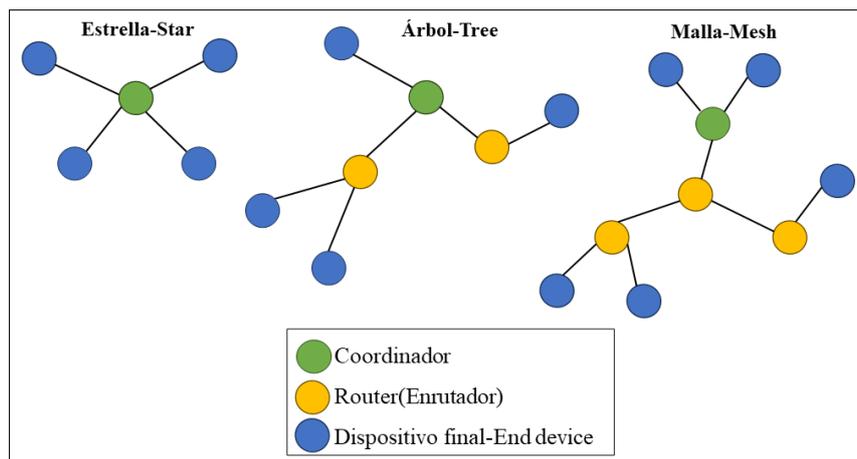


Figura 4. Topologías lógicas redes ZigBee.

2.8.3 PAN ID ZigBee

Toda red ZigBee se define por un ID PAN el cual es un identificador de una red inalámbrica por lo tanto todos los dispositivos pertenecientes a la red deben estar identificados con el mismo. El identificador posee 16 bits, se usa como campo de direccionamiento de capa MAC en todas las transmisiones de datos de RF entre todos los dispositivos de la red.

Los coordinadores seleccionan un identificador aleatorio de 16 bits para su red, routers y dispositivos finales de ZigBee debido al limitado espacio de direccionamiento deben configurarse con un identificador de 64 bits de la red a la que desean unirse [8].

2.8.4 Canal de Operación de ZigBee

ZigBee para su comunicación utiliza la modulación de espectro ensanchado por secuencia directa "DSSS" y opera en un canal fijo. En estándar IEEE 802.15.4 define como 16 canales operativos en la banda de frecuencia de 2.4GHz [8].

2.9 Internet de las Cosas en la Agricultura

El uso de IoT en la agricultura se describe como una tecnología destinada a organizar la gran variedad de sensores para formar redes, a través de los cuales se puede recolectar información de tierras aptas para la agricultura y análisis en tiempo real de los resultados transmitidos a los agricultores para que puedan tomar las decisiones más adecuadas [28]. Algunos desafíos de aplicar IoT en la agricultura son bajo mantenimiento, escalabilidad, soluciones requeridas con bajo costo, explotación de tierras pequeñas e irregulares, fácil operación y tolerancia a fallos. A nivel tecnológico, la aplicación de IoT en agricultura encuentra un gran aliado por parte de la computación en la nube para el tratamiento de datos.

2.9.1 Ventajas del uso de IoT en la Agricultura

- Alta escalabilidad
- Bajo costo
- Largo tiempo de vida
- Sistemas reconfigurables
- Tolerancia a fallos
- Seguridad de información
- Gestión de tierras de cultivo
- Calidad de servicio (QoS)
- Administración dinámica.

2.10 Arquitectura de red para aplicaciones agrícolas

La arquitectura de red es el diseño de una red de comunicaciones. Las categorías de red según la jerarquía se clasifican en varios grupos considerando algunos parámetros, como el movimiento de los dispositivos de red, tipos de nodos de sensores y por jerarquía del sistema [31]. La Figura 5 proporciona una representación visual de las arquitecturas clasificadas con respecto a los parámetros antes mencionados.

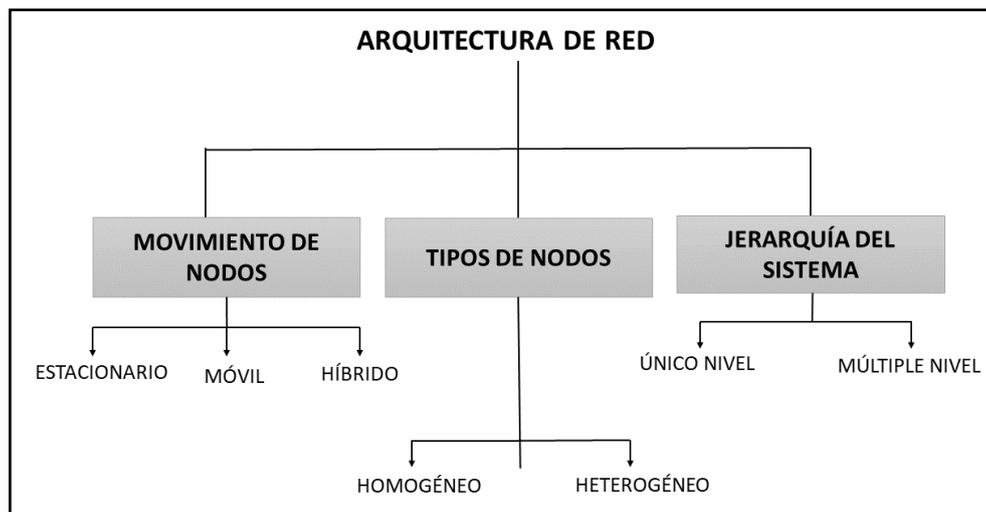


Figura 5. Clasificación de arquitecturas de red.

2.10.1 Arquitectura estacionaria

Los nodos sensores se despliegan en una posición fija y, durante la aplicación, no cambian de posición. Por lo general, las aplicaciones como el sistema de gestión de riego, el control de la calidad del agua subterránea y el control del uso de fertilizantes requieren arquitecturas

estacionarias. En tales aplicaciones con TWSN, los nodos sensores del registrador de datos (colector de datos) se colocan sobre el campo. Sin embargo, en las WUSN, los nodos sensores del colector de datos se colocan bajo tierra [32].

2.10.2 Arquitectura homogénea

Se compone de dispositivos equipados con sensores de potencial similar. Este tipo de marco se usa normalmente en aplicaciones basadas en implementaciones no planificadas. En tales circunstancias, la red se despliega principalmente para el monitoreo en sitios agrícolas deseados. Sin embargo, este tipo de arquitectura carece de variedad en términos de hardware de comunicación. En consecuencia, los esquemas y protocolos de comunicación se diseñan teniendo en cuenta esta limitación. Tal es el caso de este tipo de arquitectura la aplicación de recopilación de datos agrícolas sobre el uso de pesticidas y la cantidad cambiante de nutrientes del suelo [33].

2.10.3 Arquitectura único nivel

Se compone de un diseño jerárquico con capas independientes, cada capa que compone la jerarquía proporciona funciones específicas las cuales definen su función dentro de la red general.

2.11 Thingspeak

Es una plataforma abierta de IoT que permite recopilar, observar y analizar flujos de información en tiempo real en la nube y proporcionar visualizaciones instantáneas de la data enviada por sus dispositivos a Thingspeak. Se caracteriza por ser una plataforma de código abierto con una API para poder almacenar y recuperar datos que están orientados a objetos vía HTTP sobre internet [34]. La Figura 6 muestra un diagrama de funcionamiento de la plataforma Thingspeak.

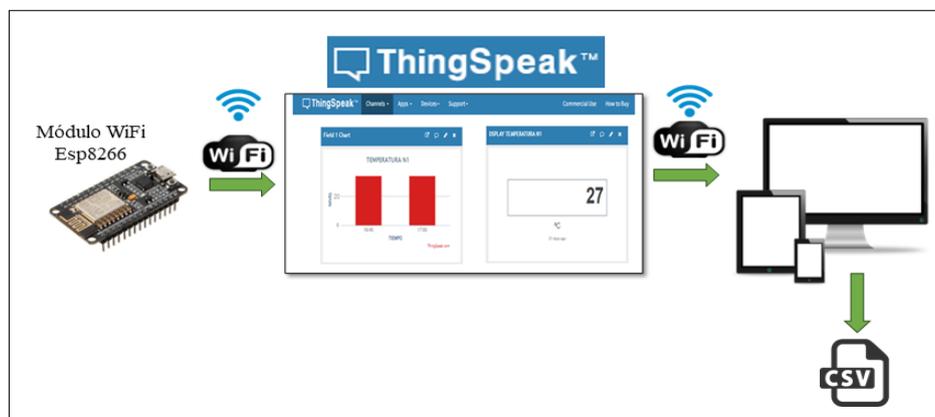


Figura 6. Diagrama de funcionamiento de la plataforma de Thingspeak, del autor.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGÍA.

3.1 Tipos de investigación

- **Investigación Bibliográfica**

La revisión bibliográfica es una parte importante en todo trabajo de investigación. En el desarrollo del proyecto, se realiza una revisión sistemática de una serie de documentos en repositorios digitales, artículos científicos, papers, revistas, libros entre otros, con la finalidad de recoger información relevante relacionada al tema de la investigación. La información obtenida tendrá que ser de sociedades científicas fiables y conocidas.

- **Investigación de Campo**

Este tipo de investigación permite la recolección de datos cualitativos con el fin de poder observar, analizar, comprender e interactuar con personas dentro de su entorno. En este sentido, este proyecto de investigación es de campo dado que se tiene contacto directo con los agricultores con el propósito de obtener información relacionada con los sembríos de caña de azúcar, específicamente los métodos empíricos que utilizan en el proceso de cultivo y los factores que afectan el crecimiento de la planta.

- **Investigación Experimental**

Para el desarrollo de esta investigación se implementa una red de sensores inalámbricos para monitorear sembríos de caña de azúcar, dando lugar a una investigación de tipo experimental, puesto que se pretende comprobar si el sistema implementado va a permitir que el agricultor lleve un monitoreo más eficiente de los cultivos, y por ende evitar pérdidas de producción.

3.2 Técnicas de recolección de datos

- **Entrevista**

Para la ejecución y levantamiento de información se empleó entrevistas de tipo cerrada a un cierto número de agricultores de caña de azúcar, mediante el cual se apreció que no existe mucho entendimiento acerca de los factores que afectan al adecuado crecimiento de la planta, incluso que sus conocimientos son empíricos, de igual forma se vio el interés por experimentar e implementar tecnología que monitoree los sembríos.

- **Observación**

Dentro de esta técnica de investigación existe la observación participativa y la no interactiva, dentro del proyecto se aplica la observación participativa al momento de visitar y observar

personalmente los sembríos de caña azúcar para obtener información sobre los factores que afectan la productividad, de igual modo los métodos que aplican para controlar el adecuado desarrollo del cultivo.

3.3 Población y Muestra

3.3.1 Población

La población estará compuesta por la extracción de datos de los sensores (medidas de humedad, temperatura y pH), instalados dentro del cultivo de caña de azúcar en la parroquia Telimbela, perteneciente a la provincia de Bolívar.

3.3.2 Muestra

La muestra se tomará de la población anteriormente definida.

3.4 Hipótesis y operacionalización de variables

3.4.1 Definición de hipótesis de investigación (H)

La implementación de una red de sensores inalámbricos permitirá el monitoreo de los niveles de Temperatura ambiente, humedad del suelo y pH del suelo en cultivos de caña de azúcar.

3.4.2 Variable Independiente

Implementación de una red de sensores inalámbricos.

3.4.3 Variable dependiente

Monitoreo de sembríos de caña de azúcar.

Tabla 4. Análisis de variables dependientes e independientes, autoría del autor.

Variable independiente	Concepto	Indicadores	Instrumentos
Implementación de una red de sensores inalámbricos	Identificación de requerimientos limitaciones, especificaciones, requisitos y funcionalidad del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> – Temperatura – Humedad – pH 	<ul style="list-style-type: none"> Computadora Sensores Software
Variable dependiente	Concepto	Indicadores	Instrumentos
Monitoreo de sembríos de caña de azúcar.	Obtención de datos provenientes desde un dispositivo que transforma una variable física en electrónica por medio de una tarjeta de desarrollo.	<ul style="list-style-type: none"> – Agua de riego – Drenajes – Riego de Cal (Oxido de calcio) – Materia Orgánica 	Recopilación de datos

3.5 Análisis de requerimientos

Previo al proceso de implementación del sistema de monitoreo, se realiza una selección de la tecnología de comunicación, hardware y software que conformaran la red de sensores inalámbricos.

3.5.1 Selección de Tecnología inalámbrica

Se recopiló información para conocer y comprender las diferentes tecnologías usadas para la automatización del sector agrícola. A continuación, en la Tabla 5 se realiza una comparativa entre las tecnologías más comunes:

Tabla 5. Características de las tecnologías inalámbricas usadas en IoT.

	Bluetooth	Wifi	ZigBee
Velocidad	1Mbps	54 Mbps	250 Kbps
Número de nodos	8	32	255/65535
Duración de baterías	Días	Horas	Años
Costo	Medio	Caro	Barato
Banda de Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Configuración	Compleja	Compleja	Simple
Aplicaciones	Informática y móviles	Internet en edificios	Domótica y monitorización

Cada una de estas tecnologías de comunicación tienen características que las ubican en la mejor o peor posición en función de la aplicación. Dado que el presente proyecto de investigación está enfocada al área de agricultura, la tecnología más idónea es ZigBee, puesto que, es la que mejor se adapta a los requerimientos de la red. De igual forma ZigBee al ser comparado con WiFi y Bluetooth sobresale por el reducido consumo de batería, bajo costo de implementación, mayor número de nodos conectados a la red, mayor alcance de conectividad.

3.5.2 Selección de hardware

A continuación, se describen cada uno de los elementos seleccionados para el presente proyecto de investigación.

3.5.2.1.1 Arduino UNO R3 (CH340 SMD)

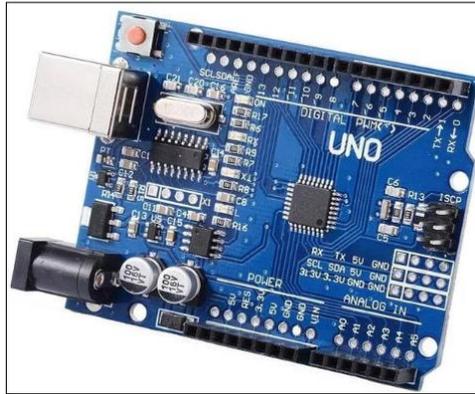


Figura 7. Arduino UNO R3 (CH340 SMD).
Fuente: [35]

Para el procesamiento de las señales de humedad, pH y temperatura se ha escogido la tarjeta de desarrollo Arduino UNO R3(CH340 SMD) ya que este módulo cuenta con las librerías para el procesamiento de las señales de cada uno de los sensores, además permite la conexión de las salidas UART del módulo Xbee S2C. También por otra parte, se ha elegido este módulo por ser económico a comparación de su otra versión.

Esta placa electrónica es la evolución del Arduino UNO R3, posee hardware libre y está basado en el microcontrolador Atmega 328. Asimismo, incorpora un chip conversor USB a serial CH340 en lugar de otros más costosos y requiere de la instalación de los drivers de este chip para poder usarse [35]. Las características técnicas se muestran en la Tabla 6

Tabla 6. Características técnicas Arduino UNO R3(CH340 SMD).

Características técnicas	
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de entrada recomendada	7 a 12V
Voltaje de entrada máxima	6-20V
Pines Entrada/Salida	14
Pines de entrada analógica (ADC)	6
Corriente DC por pin Entrada/Salida	20mA
Corriente DC pin 3.3v	50mA
Memoria Flash	32Kb (0,5 son usados por el bootloader)
SRAM	2Kb
EEPROM	1Kb
Velocidad de Reloj	16MHz

3.5.2.1.2 Modulo XBee S2C



Figura 8. Modulo XBee S2C.
Fuente: [36]

Para la parte de transmisión y recepción de los datos se usa el módulo Xbee S2C, por su bajo consumo y conexión inalámbrica. Permite crear una red ZigBee bajo los estándares IEEE 802.15.4.

La comunicación se realiza de forma serial y se puede configurar en modo API [36]. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Especificaciones técnicas del módulo XBee S2C.

Características técnicas	
Voltaje	3.3V
Pines Entradas Digitales	3
Pines Salidas Digitales	3
Pines Entradas Analógicas	2
Alcance de Comunicación	10-100 (mts)
Velocidad de Comunicación	20 y 250 (Kbps)
Sensibilidad de Recepción	-85dBm (Banda de 2.4 GHz)
Corriente al transmitir	30mA
Corriente en reposo	3 mA
Número de nodos	65543

3.5.2.1.3 Shield pro XBee



Figura 9. Shield pro XBee Wireless Arduino UNO.
Fuente: [36]

Esta placa hace posible la comunicación serial entre el módulo Arduino y el XBee. Trabaja de dos formas, en modo USB que permite cargar el programa sin tener que desmontar el XBee y en modo transmisión al momento de encontrarse enviando y recibiendo datos inalámbricos.

Este Shield es compatible con varios módulos XBee y además posee pines analógicos y digitales que pueden ser conectados a distintos sensores[36].

3.5.2.1.4 XBee Explorer adaptador mini USB

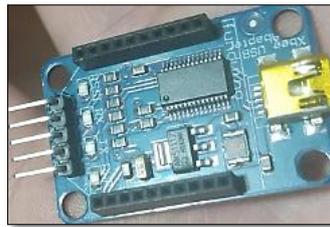


Figura 10. XBee Explorer adaptador mini USB, del autor.

Consiste en una placa que permite conexión USB y la convierte a serial, permitiendo establecer comunicación directa entre la computadora y el módulo XBee y por consiguiente la programación de estos. Posee un botón de reset para reiniciar el XBee ya sea en modo operación o en modo configuración [37].

3.5.2.1.5 Nodemcu Wireless Esp8266

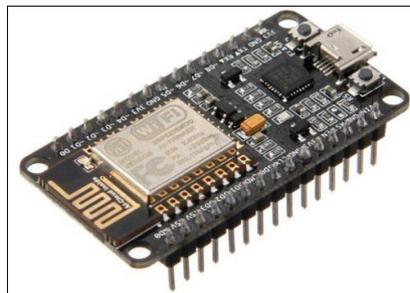


Figura 11. Módulo Nodemcu Esp8266.
Fuente: [38]

Esta tarjeta de desarrollo de código abierto diseñado para IoT, va a permitir la conexión del sistema a la red WiFi de un hogar cercano al cultivo, y así de esta manera poder enviar los datos que toman los sensores a un servidor en la nube. El módulo está montado en el conocido ESP8266 el cual posee potentes capacidades de procesamiento y almacenamiento, lo que le permite integrarse con sensores y dispositivos por medio de sus GPIOs ocupando

una carga mínima, la instalación con el sistema operativo resulta fácil debido a su conversor USB CH340[38]. En la Tabla 8 se muestran las especificaciones técnicas.

Tabla 8. Especificaciones técnicas del módulo Nodemcu Esp8266.

Características técnicas	
Voltaje de entrada	3V a 3.6 V
Memoria RAM	80 kB (40 kB disponible)
ROM	No
Alcance	30 m
Consumo de corriente	80 mA (promedio) 225 mA máximo
Consumo en modo sueño	20 uA (RTC+ memoria RTC)
WiFi	802.11 b/g/n (hasta+20dBm), WEP, WPA

3.5.2.1.6 Sensor de Humedad y Temperatura ambiente (DHT22)

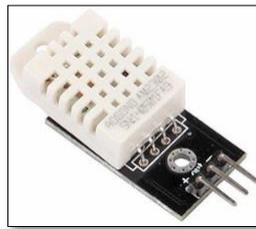


Figura 12 Sensor DHT22, del autor.

Este sensor permite monitorear temperatura relativa de una manera precisa, sencilla y con un bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad, y los datos los muestra a través de la señal digital en el pin de datos, este sensor no cuenta con salida analógica. Por otra parte, la lectura se realiza como mínimo cada 2 segundos, lo que le hace lento en comparación a otros sensores, pero a su vez lo convierte en una buena opción para sistemas que requieren de bajo consumo. En la Tabla 9 se muestran las especificaciones técnicas.

Tabla 9. Especificaciones técnicas del sensor DHT22.

Características técnicas	
Voltaje de entrada	3V a 5V
Tiempo de muestreo	2 seg
Rango de medición de temperatura	-40°C a 80°C
Precisión	±2°C

3.5.2.1.7 Sensor de humedad del suelo (FC-28)

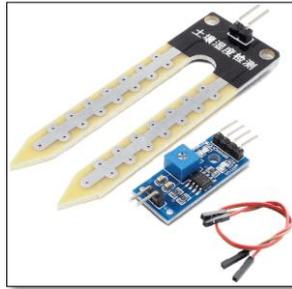


Figura 13. Módulo sensor de humedad del suelo FC-28, del autor.

Por medio de este sensor obtenemos datos de humedad del suelo, usa el sensor FC-28 y brinda valores digitales como analógicos. Este dispositivo lo que hace es medir a través de sus terminales la variación de la conductividad, es decir, cuando el nivel de líquido en el suelo es mayor, el flujo de corriente aumenta. Posteriormente, la conductividad registrada es detectada por un circuito que transforma la conductividad en un valor analógico.

Los valores de medición dependen del tipo de suelo y van desde 0 (sumergido en agua) a 1023(superficie seca)[36]. Las características técnicas se muestran a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones de sensor FC-28.

Características técnicas	
Voltaje de entrada	3.3V a 5(V)
Pin salida analógica	1
Pin salida digital	1
Ajuste de sensibilidad	Potenciómetro
Rango	0-1023

3.5.2.1.8 Sensor de pH de suelo



Figura 14. Sensor de pH del suelo agrícola.

Fuente: [39]

Este sensor permite obtener mediciones de acidez o la alcalinidad del suelo, la unidad de medida es el pH que describe el nivel de acidez o alcalinidad. El módulo sensor de pH lleva a cabo una lectura analógica de 0V a 5V, que convertidos a datos digitales con una resolución de 8 bits adquirimos valores de 0 a 1023 y por medio de una fórmula de ajuste que

internamente realiza el sensor se obtiene mediciones en un rango de pH de 0 a 9[39]. Las características técnicas se muestran a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Especificaciones técnicas del sensor de pH de suelo.

Características técnicas	
Voltaje de entrada	12V a 24V
Consumo energético medio	48mW
Rango de medición	4 a 10 pH
Resolución	0,1 pH
Precisión de medición	±0,5 pH
Nivel de protección	IP65
Señal de salida	0V a 5V/dc
Temperatura de funcionamiento	0°C a 65°C

3.5.2.1.9 Módulo elevador de voltaje MT3608



Figura 15. Módulo elevador de voltaje MT3608.
Fuente: [40]

Este módulo como su nombre lo indica, tiene como función entregar un voltaje de salida igual o superior al de ingreso frente a variaciones del voltaje de entrada o de carga, por lo que va a permitir suministrar los voltajes necesarios a los dispositivos electrónicos que así lo requieren. Soporta corrientes de salida máxima de 2 A [40].

3.5.2.1.10 Módulo cargador de batería tipo C

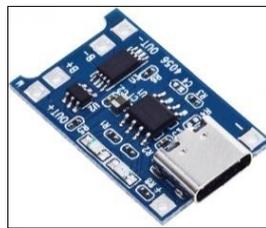


Figura 16. Módulo cargador de batería tipo C.
Fuente:[41]

Este módulo va a permitir cargar las baterías (Lipo/Lion de una celda) de 3.7V a 1A de una manera sencilla y segura ya que cuenta con un circuito de protección. Trabaja con una entrada USB tipo C.

3.5.2.1.11 Panel solar

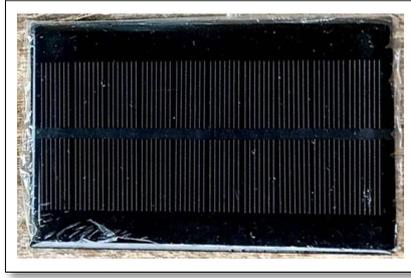


Figura 17. Panel Solar, del autor.

Para abastecer de energía cada nodo se usa paneles solares. Se componen de celdas solares de silicio y toman la luz solar para generar una corriente directa, la cual se transfiere mediante cable al módulo cargador de baterías [42].

Tabla 12. Especificaciones técnicas del panel solar.

Características técnicas	
Voltaje de salida	5V
Máxima eficiencia de corriente	200mA
Potencia	1W
Conector	Tiene pads de soldadura que permiten soldar alambres
Dimensiones	110x80x3 mm

3.5.2.1.12 Batería recargable 3.7V



Figura 18. Baterías recargables 3.7V, del autor.

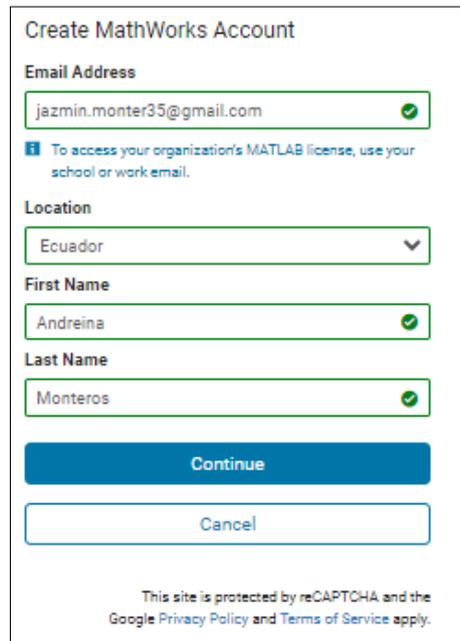
La función de estas baterías recargables de litio es la de almacenar la energía proveniente de los paneles solares. Están diseñadas para uso en dispositivos que necesitan de una salida significativa de corriente.

3.5.2.2 Selección de Software

La plataforma que se escoge para la visualización de los datos es la plataforma de IOT Thingspeak, por otra parte, Arduino para la programación de los módulos de comunicación, XCTU para la comunicación de los módulos. Finalmente, Proteus para el diseño de las placas y Cinema 3D para el diseño de las cajas de protección.

3.5.2.2.1 Plataforma Thingspeak

Esta plataforma va a permitir la publicación de los datos, para eso el coordinador recibe los datos y es el módulo Esp8266 es el encargado de establecer conexión Thingspeak, por medio de una red WiFi, con el objeto de enviar y almacenar los datos obtenidos por los sensores. Como primer paso accedemos a la página Thingspaek.com y creamos una cuenta como se observa en la Figura 19.



Create MathWorks Account

Email Address
jazmin.monter35@gmail.com ✓

i To access your organization's MATLAB license, use your school or work email.

Location
Ecuador ▼

First Name
Andreina ✓

Last Name
Monteros ✓

Continue

Cancel

This site is protected by reCAPTCHA and the Google Privacy Policy and Terms of Service apply.

Figura 19. Creación de la cuenta Thingspeak, del autor.

Posterior a la creación de la cuenta, lo siguiente es crear un canal, en este caso con el nombre “Cultivo” con los campos necesarios para receptor la información mediante el protocolo HTTP, para este proyecto es necesario la creación de 7 campos, uno para cada sensor, como se muestra la Figura 20. En este sentido es importante mencionar que para la temperatura únicamente se toman las lecturas de un nodo, teniendo en cuenta que la temperatura del ambiente dentro de un área de $100m^2$ no varía, es decir, la temperatura es la misma en toda el área de implementación.

The screenshot shows the 'Channels' configuration page in ThingSpeak. The channel name is 'Cultivo' and the description is 'Caña de azúcar'. There are eight data fields, each with a name and a checked checkbox:

- Field 1: TEMPERATURA N1
- Field 2: HUMEDAD N1
- Field 3: pH N1
- Field 4: HUMEDAD N2
- Field 5: pH N2
- Field 6: HUMEDAD N3
- Field 7: pH N3
- Field 8: (empty)

 The metadata field is empty, and the tags field contains 'tn1, hn1, phn1, hn2, phn2, hn3, phn3'. A note below the tags field says '(Tags are comma separated)'.

Figura 20. Configuración de canal, del autor.

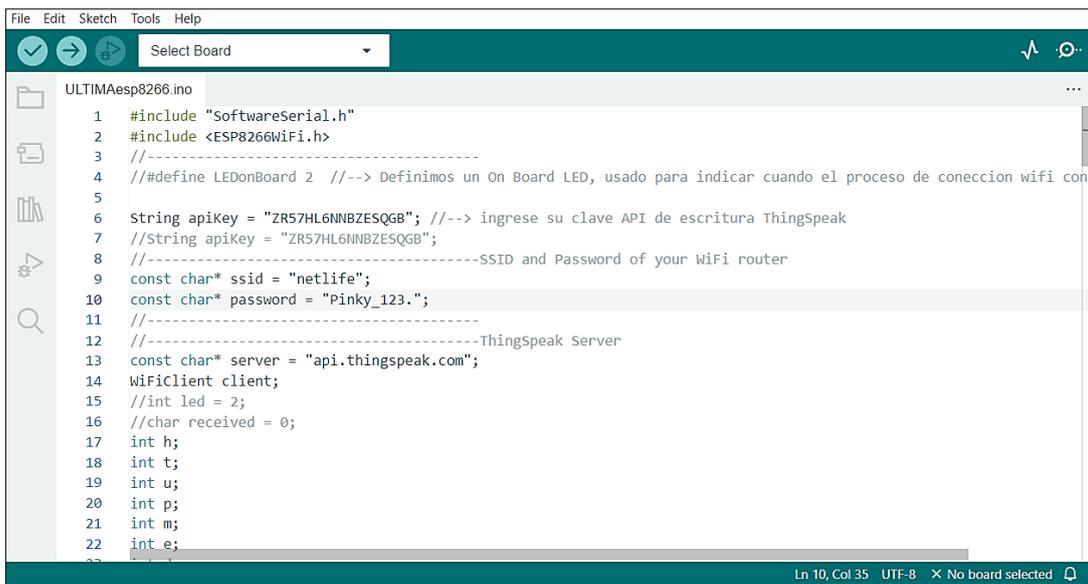
Una vez creado el canal y los campos, se procede a la configuración y conexión de la plataforma con el módulo Esp8266 para la recepción de los datos. El canal proporciona información importante como el identificador de cliente (ID) la clave API, es importante guardar estos datos. El proyecto requiere de la clave API de escritura (Write API Key), misma que se usa para el código en el IDE de Arduino en vista que se va a publicar los datos en los siete campos del canal. La Figura 21 muestra las API Key.

The screenshot shows the 'API Keys' page for a channel. The page has tabs for 'Private View', 'Public View', 'Channel Settings', 'Sharing', and 'API Keys'. The 'Write API Key' section shows a key 'ZR57HL6NNBZESQGB' and a 'Generate New Write API Key' button. The 'Read API Keys' section shows a key 'VQLF81652VI2WGMG', a 'Note' field, and buttons for 'Save Note', 'Delete API Key', and 'Add New Read API Key'.

Figura 21. API Key del canal en Thingspeak, del autor.

3.5.2.2.2 IDE de Arduino

Para programar las placas de Arduino es necesario la instalación del entorno de desarrollo llamado IDE (Integrated development environment). El IDE es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. Permite escribir, depurar, editar y grabar los programas (Sketches en el mundo de Arduino) de una forma muy sencilla. Es importante mencionar que para poder utilizar ciertos dispositivos se requiere de la instalación de algunas librerías [43]. La Figura 22 muestra el entorno de programación del IDE de Arduino.



```
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
ULTIMAesp8266.ino
1 #include "SoftwareSerial.h"
2 #include <ESP8266WiFi.h>
3 //-----
4 // #define LEDonBoard 2 //--> Definimos un On Board LED, usado para indicar cuando el proceso de coneccion wifi con
5
6 String apiKey = "ZR57HL6NNBZESQGB"; //--> ingrese su clave API de escritura ThingSpeak
7 //String apiKey = "ZR57HL6NNBZESQGB";
8 //-----SSID and Password of your WiFi router
9 const char* ssid = "netlife";
10 const char* password = "Pinky_123.";
11 //-----
12 //-----ThingSpeak Server
13 const char* server = "api.thingspeak.com";
14 WiFiClient client;
15 //int led = 2;
16 //char received = 0;
17 int h;
18 int t;
19 int u;
20 int p;
21 int m;
22 int e;
```

Figura 22. Entorno de programación del IDE de Arduino.

3.5.2.2.3 Aplicación XCTU

Esta aplicación gratuita de características multiplataforma desarrollada para que los programadores puedan interactuar con los módulos tipo Digi RF por medio de una interfaz gráfica fácil de usar va a permitir configurar y poner a prueba los módulos de RF XBee.

Lo primero es instalar los drivers XBee Explores USB para poder configurar y operar los módulos XBee desde la PC. A continuación, se debe colocar el módulo XBee S2C sobre el Xbee Explorer USB y conectar el puerto USB a la PC. La Figura 23 muestra la conexión del módulo XBee S2C al PC.

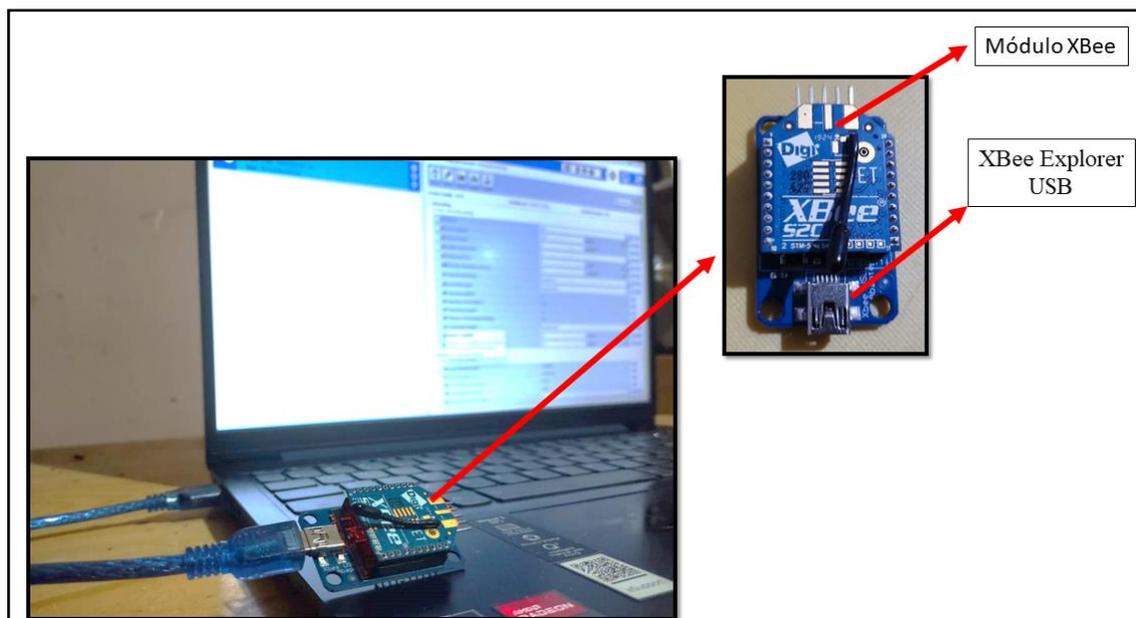


Figura 23. Conexión de módulo XBee al PC, del autor.

Para la configuración de los módulos XBee S2C se inicia abriendo dos ventanas de la aplicación XCTU como se observa en la Figura 24 para seguidamente agregar los módulos a través de la opción Discover Radio.

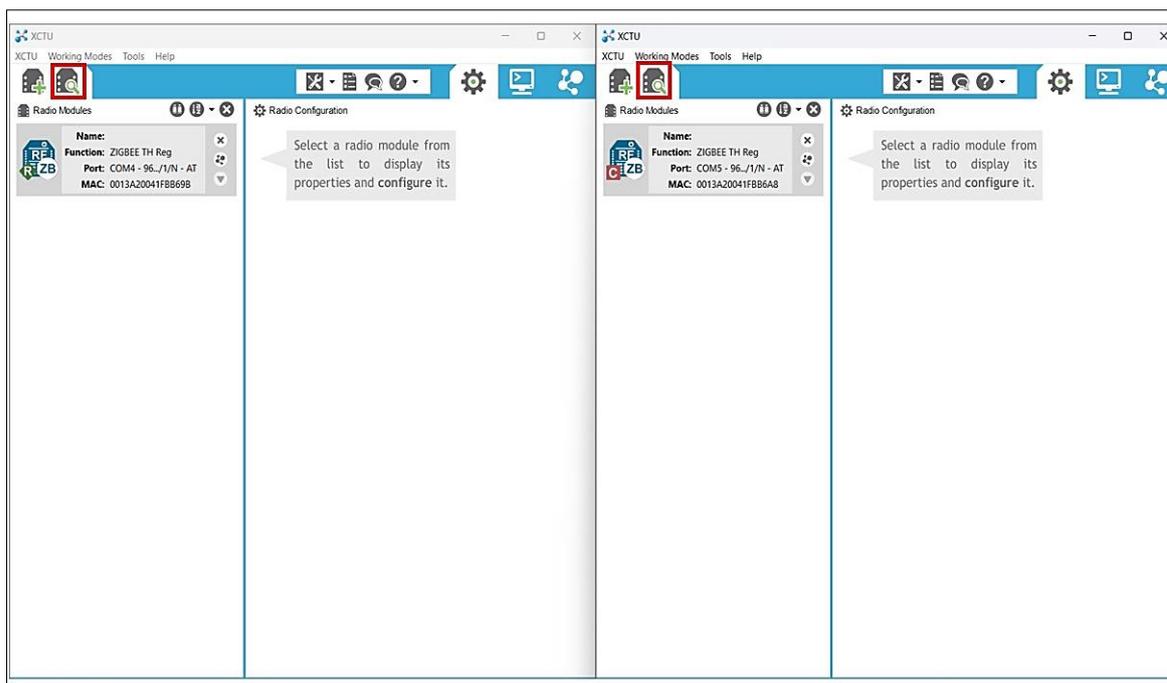


Figura 24. Dispositivos agregados a XCTU, del autor.

Para conectar inalámbricamente dos módulos Xbee S2C es preciso configurar uno como dispositivo coordinador y el otro como nodo router, de modo que una vez agregados los módulos se da Click sobre cada uno de ellos para poder ingresar en la configuración, seguidamente se ratifica que se comparta el mismo identificador de la red (**PAN ID**), asimismo para configurar el módulo XBee como coordinador se modifica la opción **CE coordinador Enable** pasando de **Disable (0)** a **Enable (1)** mientras que para configurar el

módulo router se mantiene **Disable (0)**. Finalmente, dentro de la configuración del módulo enrutador se activa la verificación del canal en **JV Chanel Verification** cambiando de **Disable (0)** a **Enable(1)**, esto hace que el router verifique si existe un coordinador valido en ese canal, caso contrario va a cambiar de canal hasta conseguirlo. La Figura 25 muestra los parametros de configuración de los módulos XBee S2C.

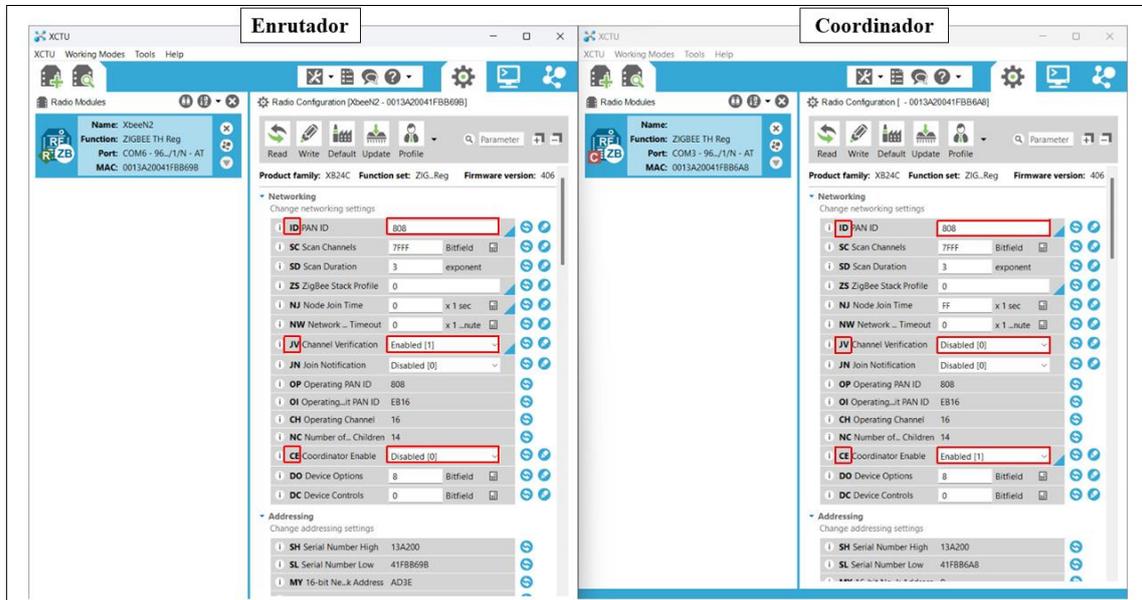


Figura 25. Parámetros de configuración de módulos XBee S2C, del autor.

Seguidamente en las dos ventanas se accede a modo consola para enlazar los dos dispositivos a través de la opción Open como se observa en la Figura 26.

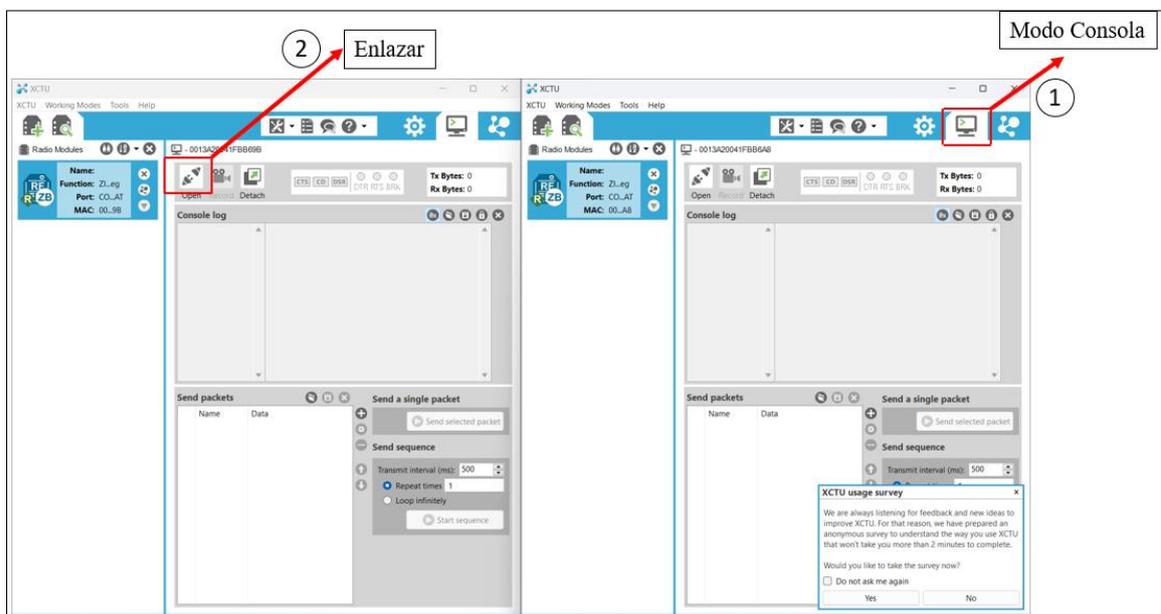


Figura 26. Enlazamiento de módulos XBee S2C, del autor.

Finalmente, se comprueba si existe comunicación escribiendo un mensaje en el router y la escritura aparecerá en el coordinador. En la Figura 27 se observa la conexión punto a punto de los módulos XBee S2C.

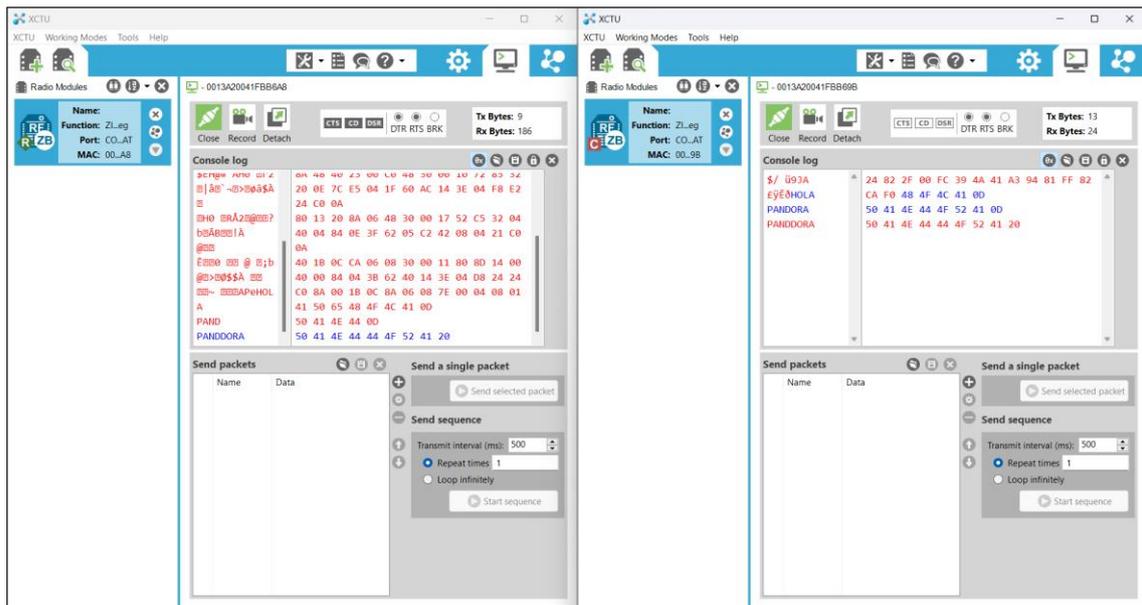


Figura 27. Comunicación de módulos XBee S2C, del autor.

3.5.2.2.4 Cinema 4D

Este software de modelado profesional permitirá crear el diseño de cajas para protección de los dispositivos electrónicos que conforman cada uno de los nodos de la red inalámbrica de sensores del polvo y lluvia, para seguidamente realizar la impresión del objeto en 3 dimensiones con material plástico tipo PLA. En la Figura 28 se puede apreciar el diseño de la caja.

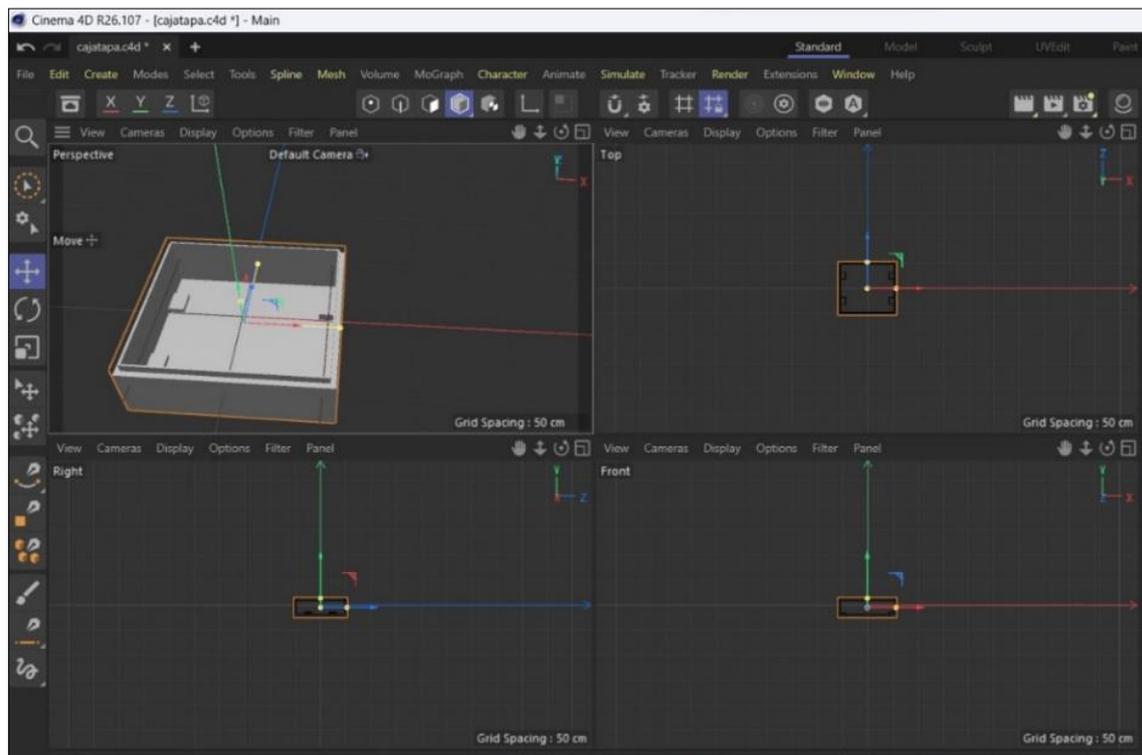


Figura 28. Diseño de caja protectora, del autor.

3.5.3 Diseño de la red de sensores propuesta

Para el Sistema de monitoreo de niveles óptimos de humedad, pH y temperatura dentro de cultivos de caña de azúcar se utilizan bloques de adquisición, transmisión, recepción, procesamiento de datos y una interfaz gráfica como se puede observar a continuación en la Figura 29.

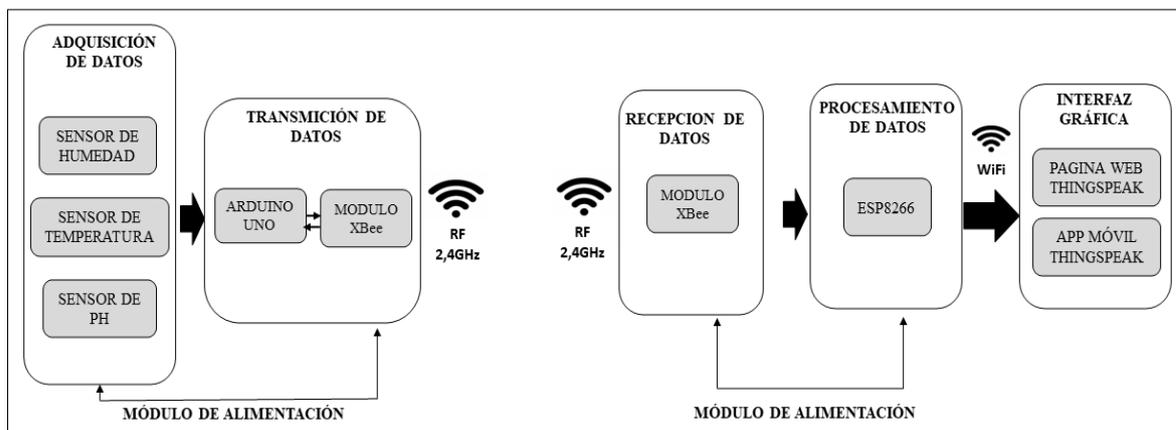


Figura 29. Diagrama de Bloques del sistema de monitoreo utilizando tecnología XBee, del autor.

Adquisición de datos

Los sensores son los encargados de detectar las señales del medio físico, para posteriormente transformarlas en señales digitales.

Transmisión de datos

El módulo de transmisión de datos está conformado por un Arduino UNO el cual se encarga de recibir los datos provenientes de los sensores, para seguidamente a través de comunicación serial ser enviados a un módulo XBee S2C configurado como router.

Recepción de datos

El módulo de recepción o coordinador está conformado por un módulo XBee S2C, mismo que recibe la información proveniente del módulo de transmisión de datos mediante WiFi.

Procesamiento de datos

Se encarga de validar, analizar, convertir y clasificar los valores adquiridos por los sensores. Asimismo, ordena los datos en secuencia y los convierte en tramas para seguidamente ser enviados hacia una base de datos.

Módulo de alimentación

Permite que la red de sensores inalámbricos sea autosustentable. Se compone de paneles solares con almacenamiento en baterías de litio, a fin de que el circuito se suministre de energía durante el tiempo que no exista luz solar.

Interfaz gráfica

La visualización de los niveles de temperatura ambiental, humedad del suelo y pH del suelo se realiza a través de la página web y aplicación móvil perteneciente a la plataforma Thingspeak.

3.5.3.1 Implementación

En la provincia Bolívar, cantón San José de Chimbo a unos 16km aproximadamente se encuentra la parroquia rural de Telimbela, situada aproximadamente a 1.464m sobre el nivel del mar.

El terreno para realizar las mediciones está ubicado a 1km aproximadamente del parque de la parroquia donde sus coordenadas son Latitud $1^{\circ}40'19.95''S$ y Longitud $79^{\circ}10'27.09''O$ y las dimensiones del terreno corresponden a 100 m^2 , con una inclinación de 51° . La Figura 30 muestra el área de implementación y como se encuentran distribuidos los nodos.

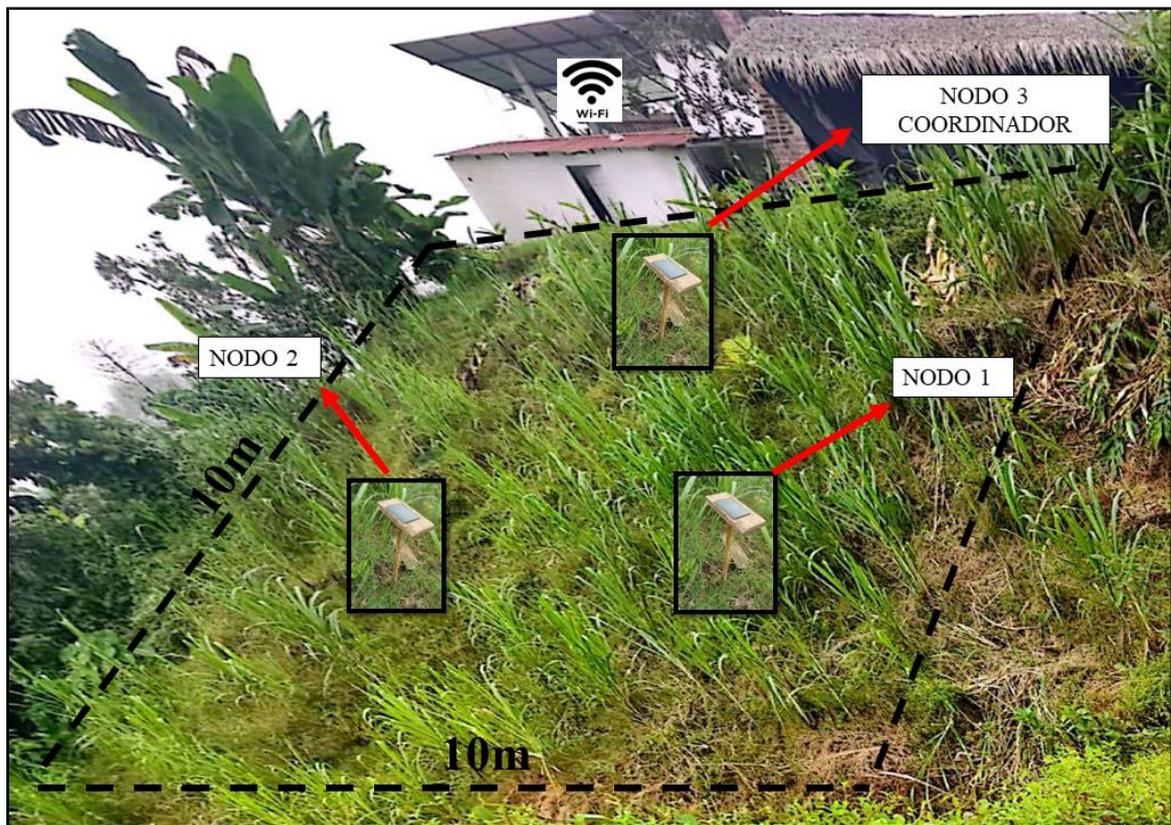


Figura 30. Área de implementación y distribución de los nodos, autoría del autor.

Para que exista una buena conectividad se debe colocar cada nodo en un rango determinado de conexión. La Figura 31 muestra que el rango de comunicación entre cada nodo es 60m.

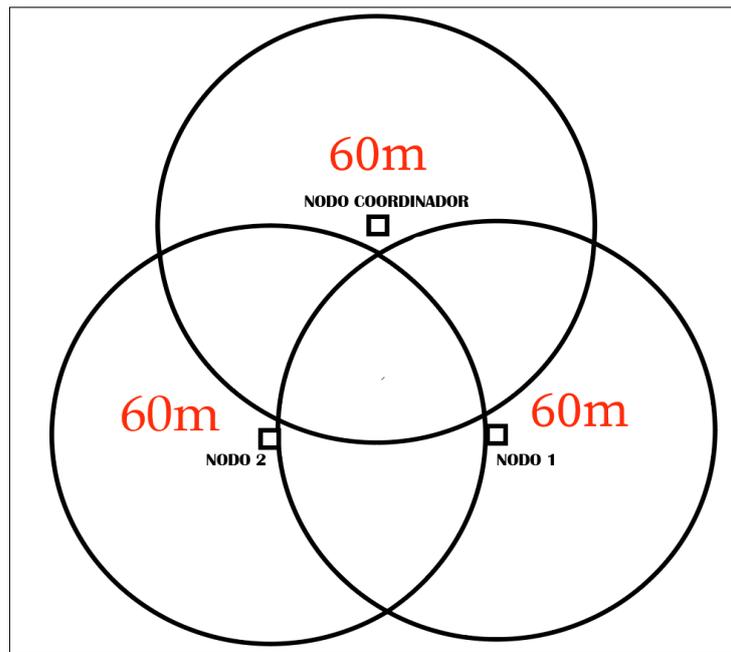


Figura 31. Rango de comunicación entre cada nodo, autoría del autor.

3.5.3.2 Implementación de Nodos

Implementar una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de factores ambientales como del suelo, requiere del diseño de circuitos electrónicos para que los sensores puedan obtener las lecturas del medio físico para posteriormente transmitirlos al nodo coordinador y finalmente ser enviados a un servidor y asimismo ser almacenados en una base de datos. En la Figura 32 se muestra el diagrama general de conexión.

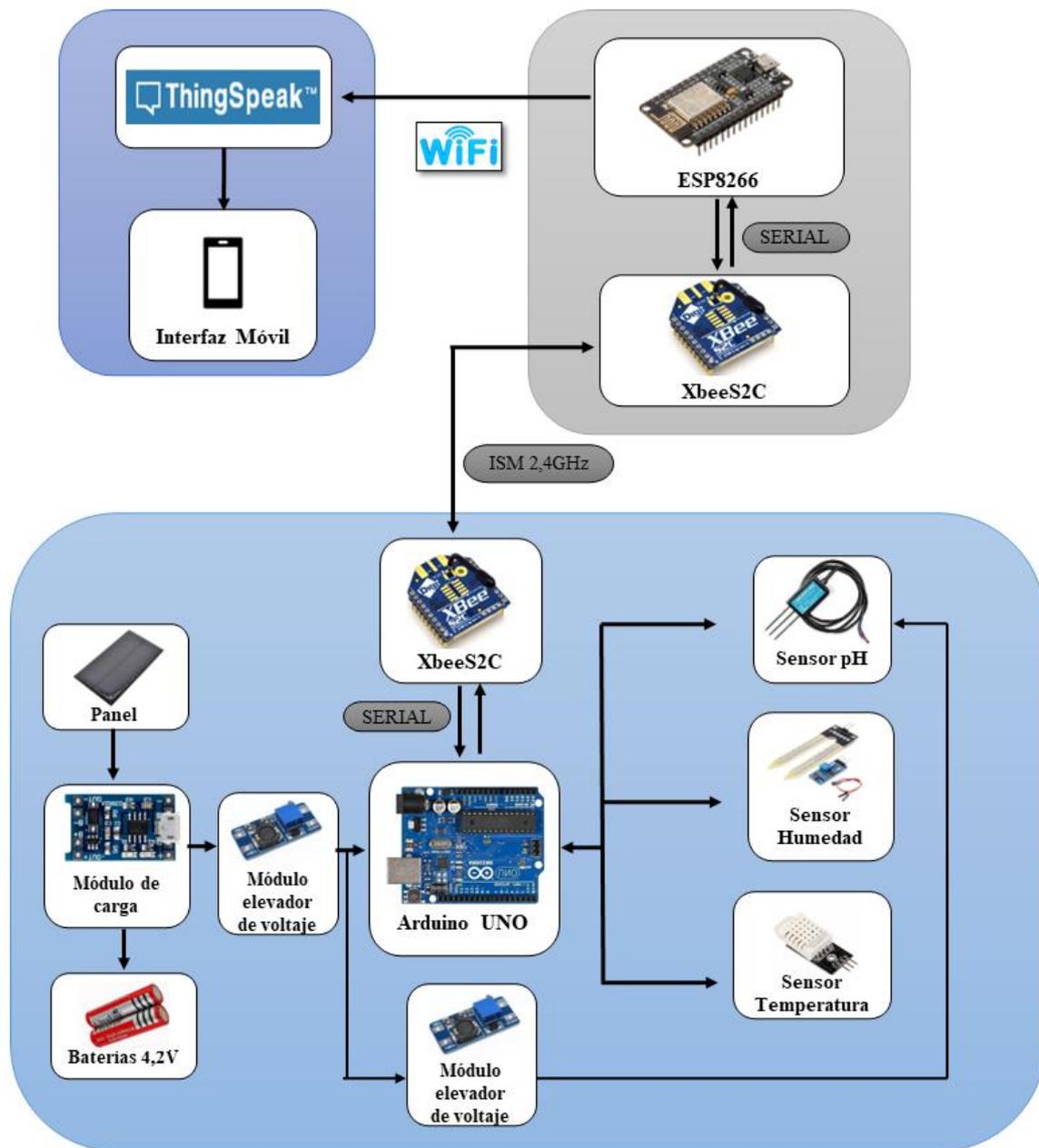


Figura 32. Diagrama general de conexión, del autor.

Se diseñan los circuitos electrónicos para tres nodos, dos de ellos configurados como enrutadores y uno como coordinador de la red.

3.5.3.3 Nodo enrutador

Los dos nodos configurados como enrutadores se componen de módulos tales como sensor de pH, el módulo sensor de humedad del suelo y el módulo sensor de temperatura ambiente, con conexión a un Arduino UNO R3 encargado de procesar la información censada para mediante comunicación serial enviar la información hasta un módulo XBee S2C, mismo que seguidamente se encargará de pasar la información al nodo coordinador a través de una red

WiFi. Además, también cuenta con dos módulos elevadores de voltaje, uno requerido por el sensor de pH debido a que su voltaje de alimentación son 12V y otro por las baterías a fin de evitar variaciones de voltaje de entrada, así pues, también se tiene un módulo de carga tipo C con conexión a un panel solar. A continuación, la Figura 33 muestra el diagrama de conexión del nodo enrutador.

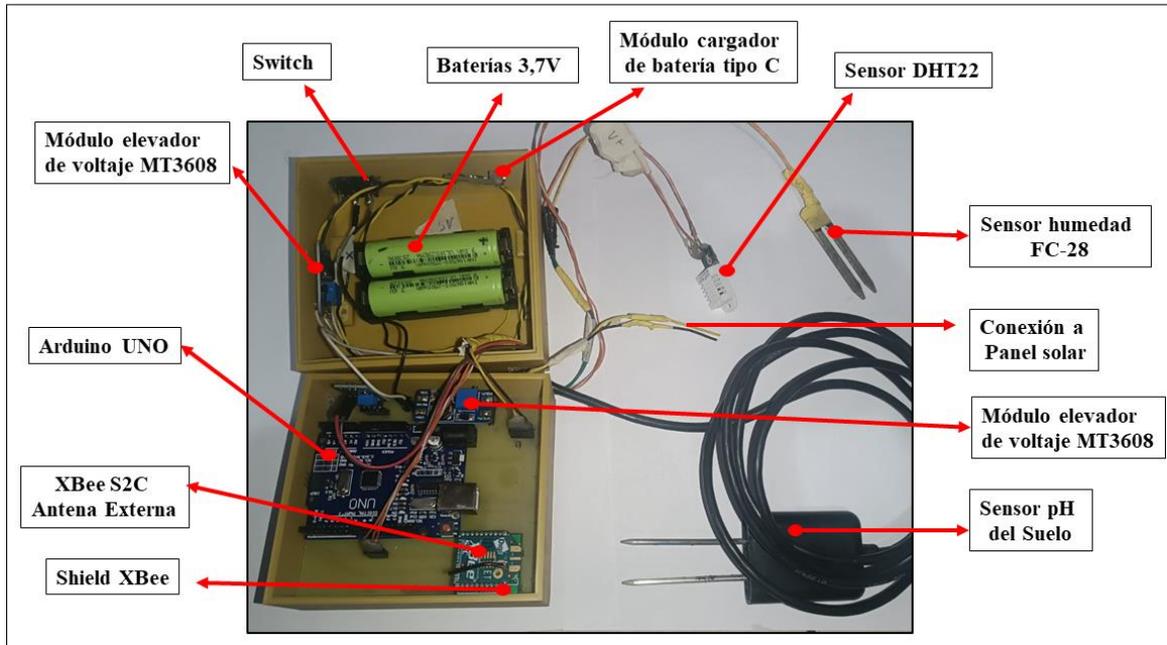


Figura 33. Diagrama de Conexión de nodo enrutador, del autor.

3.5.3.4 Nodo coordinador

El nodo coordinador se conforma de un módulo XBee S2C encargado de recibir la información proveniente de los diferentes nodos que conforman la red de sensores inalámbricos, además posee un Arduino Uno con la finalidad de que el nodo coordinador además de recibir información también tenga la capacidad de adquirir datos de los sensores, esto con el propósito de obtener un mayor número de mediciones dentro del cultivo. Asimismo, este nodo contiene un módulo Esp8266 el cual va a transmitir la información a través de una red WiFi hacia la base de datos de ThingSpeak. De igual forma el nodo coordinador, así como el nodo enrutador cuenta con dos módulos elevadores de voltaje, uno requerido por el sensor de pH debido a su voltaje de alimentación de 12V y otro para las baterías a fin de evitar variaciones de voltaje de entrada, así pues, también se tiene un módulo de carga tipo C con conexión a un panel solar. A continuación, la Figura 34 muestra el diagrama de conexión de nodo coordinador.

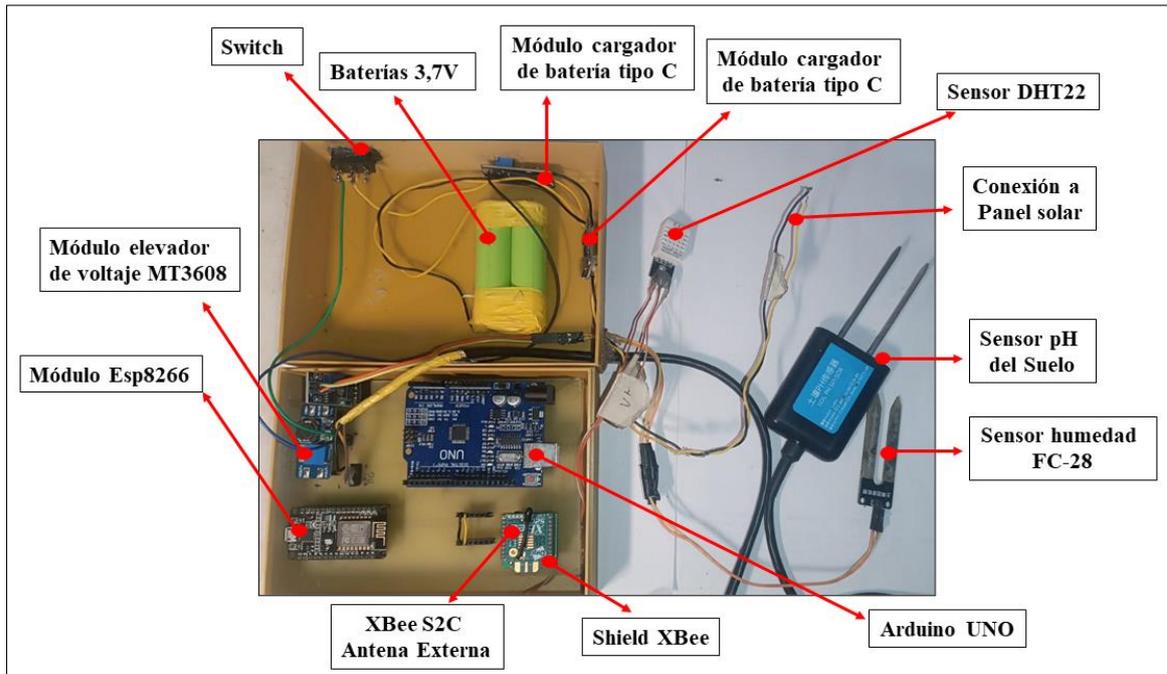


Figura 34. Diagrama de Conexión del nodo coordinador y a su vez enrutador, del autor.

3.5.4 Mensajes de alerta

Como primer paso previo a la recepción de alertas, se realiza el registro en CallMeBot a través de red social “WhatsApp”. Para ello se registra el número +34644263377 en los contactos del teléfono con el nombre “CallMeBot”. Seguidamente se tiene que enviar el siguiente mensaje desde el número de WhatsApp del usuario “Autorizo callmebot a enviarme mensajes” Figura 35.



Figura 35. Mensaje de CallMeBot, del autor.

A continuación, CallMeBot responde con el mensaje que se muestra en la Figura 36.



Figura 36. Mensaje de CallMeBot, del autor.

Finalmente, en el IDE de Arduino para módulo ESP8266 se registra el APIKey y el enlace para el envío de mensajes, además también se redacta el mensaje que se desea recibir como se observa en la Figura 37,

```
if(dato=='M'){
  m= XBee.parseInt();
  Serial.print("M");
  Serial.println(m);
  if(m>80){
    sendMessage("!ALERTA!");
    sendMessage("Rango óptimo de Humedad en Fase de Macollaje cultivo de caña de azúcar: 70% a 80%");
    sendMessage("Nodo 2 nivel de humedad al momento:");
    sendMessage(String(m));
    sendMessage("%");
    sendMessage("!Por favor tomar las acciones pertinentes!");
    delay(500);
  }
  if(m<70){
    sendMessage("!ALERTA!");
    sendMessage("Rango óptimo de Humedad en Fase de Macollaje cultivo de caña de azúcar: 70% a 80%");
    sendMessage("Nodo 2 nivel de humedad al momento:");
    sendMessage(String(m));
    sendMessage("%");
    sendMessage("!Por favor tomar las acciones pertinentes!");
    delay(500);
  }
}
```

Figura 37. Código en IDE Arduino para el módulo ESP 8266, del autor.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de resultados

Se realiza un análisis a los datos obtenidos por el sistema de monitoreo de factores que afectan a los cultivos de caña de azúcar (temperatura ambiental, humedad del suelo y pH del suelo). Se ha realizado mediciones durante 7 días, cada 20 minutos, entre las 8 de la mañana a 9 de la noche en un cultivo de caña de azúcar en fase de macollaje. El análisis de las lecturas se lleva a cabo para dos días tomados aleatoriamente de los 7 días y para un nodo de la misma manera tomado aleatoriamente de los tres nodos que conforman la red, con el objetivo de validar el funcionamiento del sistema implementado.

La base de datos obtenida de Thingspeak, se ingresa al analizador estadístico IBM SPSS, con el objetivo de analizar las lecturas de cada variable Figura 38.

	TEMPERATURA	HUMEDAD	pH	DIA	SENSOR
1	25,00	62,00	6,00	DIA1	NODO1
2	25,00	52,00	7,00	DIA1	NODO1
3	24,00	52,00	7,00	DIA1	NODO1
4	24,00	52,00	7,00	DIA1	NODO1
5	24,00	50,00	7,00	DIA1	NODO1
6	23,00	50,00	7,00	DIA1	NODO1
7	23,00	44,00	7,00	DIA1	NODO1
8	23,00	35,00	7,00	DIA1	NODO1
9	23,00	31,00	7,00	DIA1	NODO1

Figura 38. Base de datos ingresado en SPSS (Software de análisis de datos), del autor.

Para generar los números aleatorios desde el día uno al día siete y de igual manera desde el nodo uno al nodo tres se lo hace a través de la función **ALEATORIO.ENTRE** de Excel. En la Tabla 13 se muestra los días y los nodos generados aleatoriamente.

Tabla 13. Días y nodos aleatorios para el análisis, realizada por el autor.

ANÁLISIS	DÍA ALEATORIO 1	NODO ALEATORIO 1	DÍA ALEATORIO 2	NODO ALEATORIO 2
TEMPERATURA PROMEDIO	6	1	7	1
HUMEDAD	5	1	4	2
Ph	2	3	3	2

4.1.1 TEMPERATURA

La temperatura óptima para la caña de azúcar en la fase de macollaje debe ser menor o igual a 30°C. Temperaturas menores a 21°C reducen el macollamiento (producción de tallos) y temperaturas mayores a 37°C queman las raíces [18][22].

DÍA Y NODO ALEATORIO 1

Tabla 14. Estadísticos descriptivos Temperatura día 6 nodo 1, del autor.

Estadísticos descriptivos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
TEMPERATURA DÍA 6 NODO 1	40	23,00	27,00	25,0250
HORA	40	1,00	40,00	
N válido (por lista)	40			

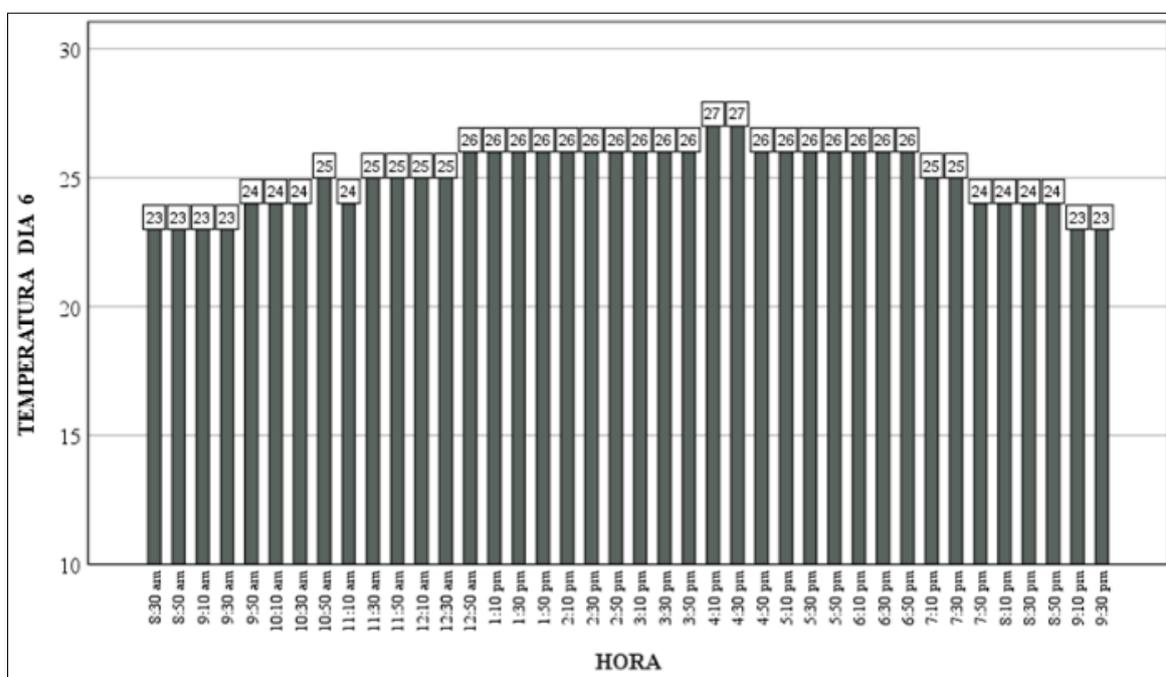


Figura 39. Temperatura promedio día 6 y nodo 1, autoría del autor.

La Tabla 14 muestra que en el día seis existió un mínimo de temperatura de 23°C y un máximo de 27°C, asimismo un promedio de temperatura de 25°C obteniendo como resultado que en este día la temperatura estuvo dentro del rango óptimo. Por otra parte, la Figura 39 permite visualizar que en el transcurso del día existió oscilaciones de temperatura, los valores mínimos fueron en horas de la mañana hasta las 12 pm y pasado las 7pm mientras que de 4:10 pm a 4:30 pm el nivel máximo.

DÍA Y NODO ALEATORIO 2

Tabla 15. Estadísticos descriptivos Temperatura día 7 nodo 1, del autor.

Estadísticos descriptivos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
TEMPERATURA DÍA 7 NODO 1	40	23,00	26,00	24,6750
HORA	40	1,00	40,00	
N válido (por lista)	40			

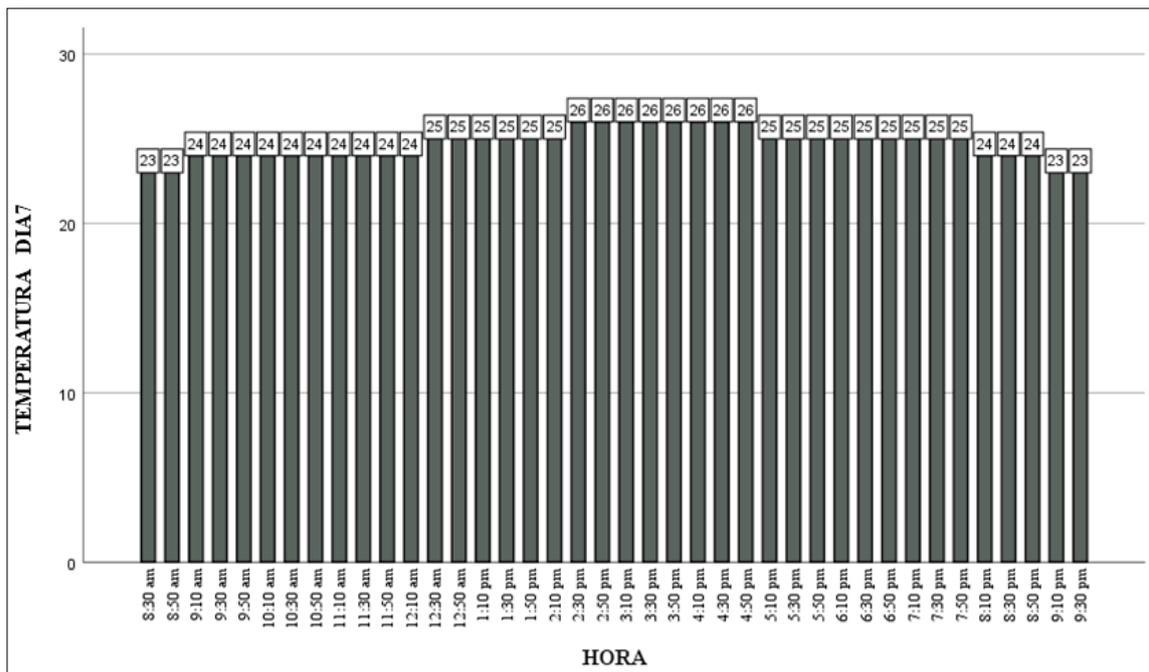


Figura 40. Temperatura promedio día 7 nodo 1, autoría del autor.

La Tabla 15 muestra que en el día seis existió un mínimo de temperatura de 23°C y un máximo de 26°C. Asimismo, un promedio de temperatura de 24.6°C obteniendo como resultado que en este día la temperatura estuvo dentro del rango óptimo. Por otra parte, la Figura 40 permite visualizar que en el transcurso del día existió oscilaciones de temperatura, los valores mínimos fueron en horas de la mañana hasta las 12:10 pm y pasado las 8:10pm mientras que de 2:30 pm a 4:50 pm el nivel máximo.

Análisis

La temperatura en el día seis y siete se encontró dentro del rango óptimo para el adecuado crecimiento de la planta, además al existir oscilación de temperatura en el transcurso del día indican un punto a favor, ya que al no existir oscilaciones la planta no retiene sacarosa.

4.1.2 HUMEDAD

La humedad es un factor primordial dentro de los sembríos de caña de azúcar, el nivel mínimo, pero no recomendable es del 50% y el rango óptimo es del 70% a un 85% en la fase de macollaje. Cabe mencionar que con un nivel mínimo de humedad la planta crece de forma lenta y el nivel de azúcar disminuye [18][22].

DÍA Y NODO ALEATORIO 1

Tabla 16. Estadísticos descriptivos Humedad día 5 y nodo 1, del autor.

Estadísticos descriptivos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
HUMEDAD Día 5 NODO 1	40	34,00	67,00	49,6500
HORA	40	1,00	40,00	
N válido (por lista)	40			

La Tabla 16 muestra que en el día cinco y en el nodo uno existió un mínimo de humedad de 34% y un máximo de 67%. Asimismo, un promedio de humedad de 49.6% obteniendo como resultado que en este día la humedad estuvo por debajo del rango óptimo.

DÍA Y NODO ALEATORIO 2

Tabla 17. Estadísticos descriptivos Humedad día 4 y nodo 2, del autor.

Estadísticos descriptivos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
HUMEDAD Día 4 NODO 2	40	57,00	74,00	65,6000
HORA	40	1,00	40,00	
N válido (por lista)	40			

La Tabla 17 muestra que en el día cuatro y en el nodo dos existió un mínimo de humedad de 57% y un máximo de 74%. Asimismo, un promedio de humedad de 65.6% obteniendo como resultado que en este día la humedad estuvo por debajo del rango óptimo.

Análisis

Los niveles de humedad tanto del día 4 y 5 estuvieron por debajo del rango idóneo, por lo que en este sentido se observa que el factor de humedad influirá en el corto crecimiento de la planta.

4.1.3 pH

La caña de azúcar es sensible a la salinidad, por lo que los niveles de pH idóneos durante las 4 fases de crecimiento de la caña de azúcar están dentro del rango de 5.5 a 7.8 [18][22].

DÍA Y NODO ALEATORIO 1

Tabla 18. Estadísticos descriptivos Humedad día 7 nodo 3, del autor.

Estadísticos descriptivos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
pH Día 7 NODO 3	40	6,00	8,00	6,9250
HORA	40	1,00	40,00	
N válido (por lista)	40			

La Tabla 18 muestra que en el día siete y en el nodo tres existió un mínimo de pH de 6 y un máximo de 8. Asimismo, un promedio de pH de 6.9 obteniendo como resultado que en este día existieron niveles de pH superiores a 7.8, valor que se encuentra fuera del rango óptimo.

DÍA Y NODO ALEATORIO 2

Tabla 19. Estadísticos descriptivos de pH día 3 nodo 2, del autor.

Estadísticos descriptivos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
pH Día 3 NODO 2	40	6,00	7,00	6,8750
HORA	40	1,00	40,00	
N válido (por lista)	40			

La Tabla 19 muestra que en el día tres y en el nodo dos existió un mínimo de pH de 6 y un máximo de 7. Asimismo, un promedio de pH de 6.8 obteniendo como resultado que en este día los niveles de pH se encuentran dentro del rango óptimo.

Análisis

En el día siete y en el nodo tres el nivel de pH estuvo por encima del valor óptimo, en este sentido, cabe mencionar que un día antes de realizar las mediciones el agricultor agrego desechos como forma de abono, lo cual influyo en el alza del nivel de acidez del suelo. Por ende, se logró observar cómo influye la colocación de abono en los niveles de acidez.

4.2 Comparativa entre valores reales y medidos

Tomando como referencia la investigación realizada por la Universidad de agronomía de Viena en conjunto con la universidad de Mahasarakham en Tailandia denominada “Aplicaciones de la teledetección en el cultivo de la caña de azúcar” [18] y por el estudio

realizado por Ecobusiness denominado “Guía para el cultivo de caña de azúcar en el Ecuador” [22], se determina que los niveles óptimos para el crecimiento de la caña de azúcar son los que se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Rangos óptimos de factores edafoclimáticos.

RANGOS ÓPTIMOS DE FACTORES EDAFOCLIMÁTICOS			
	TEMPERATURA	HUMEDAD	pH
FASE DE MACOLLAJE	21°C 30°C	80% a 85%	5 a 7

A continuación, la Tabla 21 presenta los valores medidos.

Tabla 21. Valores medidos, del autor.

VALORES MEDIDOS			
# DÍA Y NODO ALEATORIO	TEMPERATURA MEDIA	HUMEDAD MEDIA	pH MEDIA
1	25.03°C	49.65%	6.92
2	24.67°C	65.6%	6.87

Comparando la Tabla 20 y la Tabla 21 se distingue que, durante los días en los que se realizó las mediciones los niveles PROMEDIOS de temperatura y pH se encontraron dentro del rango óptimo (resaltado color verde Tabla 21), mientras que en cuanto a los valores de humedad, estos estuvieron por debajo de los niveles requeridos (resaltado color rojo Tabla 21). En definitiva, el análisis realizado da a entender que dentro del cultivo se deberá realizar acciones correctivas que mejoren los niveles de humedad del terreno como por ejemplo, utilizar sistemas de riego por aspersión.

4.3 Validación de datos

Para corroborar que los datos obtenidos por los sensores son válidos se utilizó dos dispositivos comerciales, uno de ellos con la capacidad de medir pH del suelo y el otro con la capacidad de medir humedad del suelo, de igual manera, para validar los datos de temperatura se recurrió a la aplicación del tiempo de Google tomando en cuenta que Google obtiene los datos de “El Canal del Clima” (The Weather Channel) mismo que es un acreditado servicio meteorológico[44]. La Figura 41 muestra el dispositivo y la interfaz de la aplicación del tiempo de Google.

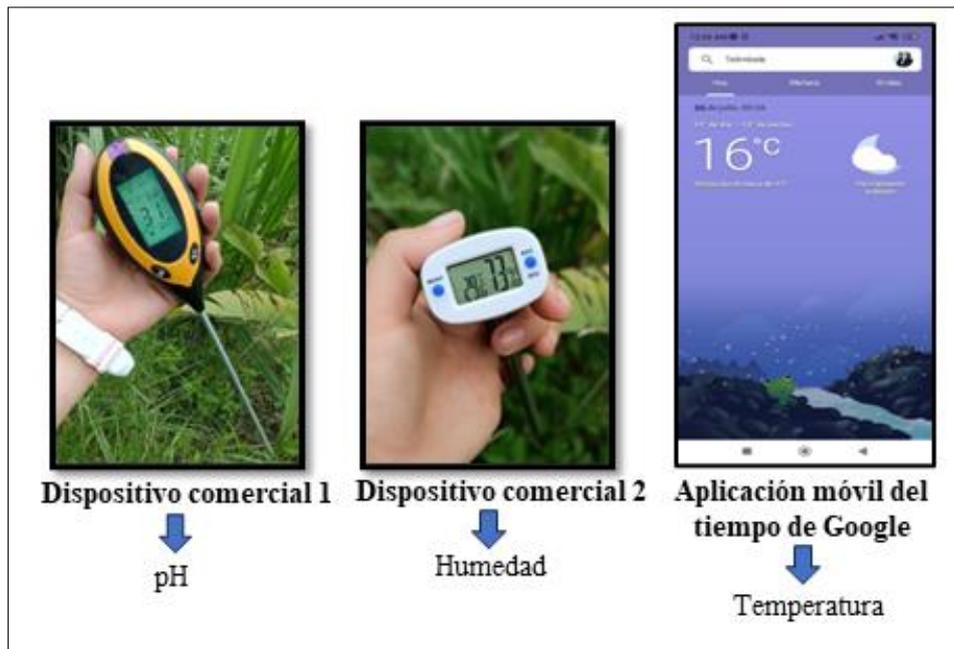


Figura 41. Dispositivos comerciales y aplicación móvil del tiempo de Google.

Los rangos de medición de los dispositivos comerciales se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Rangos de medición del dispositivo comercial.

VARIABLE	RANGO
pH (Dispositivo comercial 1)	3.5 a 9.0
HUMEDAD (Dispositivo comercial 2)	30% a 90%

Para la validación de los datos adquiridos por los sensores se realizó la toma de mediciones en diferentes sitios del cultivo, donde los valores dados por los dispositivos comerciales y la aplicación del tiempo de Google se denomina valores “IDEALES”, mientras que a los valores obtenidos por los sensores se denomina valores “REALES”, esto se muestra en la Tabla 23, Tabla 26, y Tabla 29.

4.3.1 Sensor de temperatura

Se tomaron lecturas en distintas horas del día, para posteriormente listar y comparar los datos adquiridos por el sensor de temperatura (DHT22) con los datos arrojados por la aplicación del tiempo de Google, Tabla 23.

Tabla 23. Tabla de mediciones de temperatura, del autor.

#	Temperatura DHT22 (°C)	
	Real	Ideal
1	22	21
2	22	22
3	22	22
4	23	23
5	22	22
6	23	23
7	23	23
8	24	24
9	24	24
10	24	24
11	23	23
12	25	25
13	24	26
14	25	26
15	24	26

Tabla 24. Estadísticas de grupo (variable temperatura), del autor.

	Tipo de sensor	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Temperatura	Real	15	23,3333	1,04654	,27021
	Ideal	15	23,6000	1,59463	,41173

La Tabla 24 muestra que las lecturas de temperatura en condiciones reales presentan una ligera variación respecto a las lecturas en condiciones ideales, además en el diagrama de cajas y bigotes de la Figura 42 se puede verificar que los datos reales tienen una dispersión similar que los ideales.

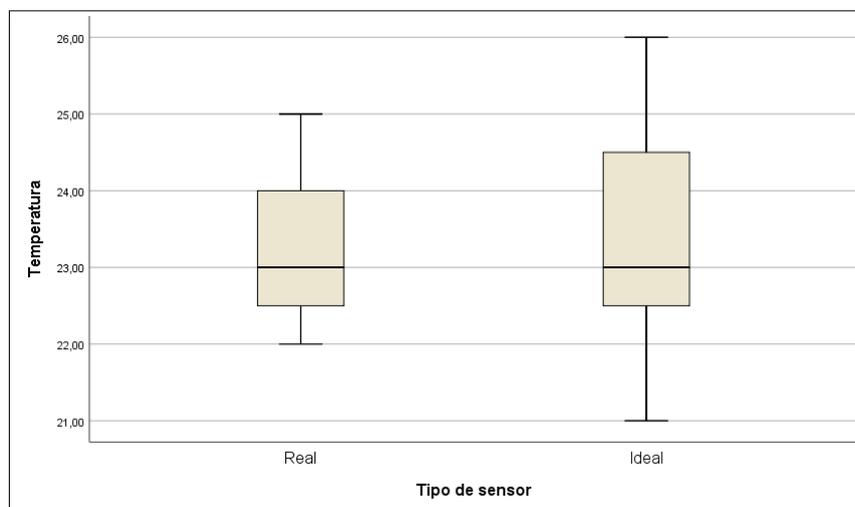


Figura 42. Diagrama de cajas y bigotes (Variable temperatura), del autor.

4.3.1.1 Prueba de hipótesis

Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: U_r = U_i$$

El promedio de los datos de temperatura adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente igual al promedio de los datos de temperatura proporcionados por la aplicación del tiempo de Google.

Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: U_r \neq U_i$$

El promedio de los datos de temperatura adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente diferente al promedio de los datos de temperatura proporcionados por la aplicación del tiempo de Google.

Resultados de prueba de hipótesis

Tabla 25. Prueba de muestras independientes (Variable temperatura), del autor.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Temperatura	Se asumen varianzas iguales	2,721	0,110	-0,541	28	0,592
	No se asumen varianzas iguales			-0,541	24,173	0,593

Como de la Tabla 25 $p\text{-valor} = 0.592 > 0.05$ entonces se avala la hipótesis nula H_0 . Es decir, el promedio de los datos de temperatura adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente igual al promedio de los datos de temperatura proporcionados por la aplicación del tiempo de Google.

4.3.2 Sensor de humedad

Se tomaron lecturas en distintos sitios dentro del cultivo, a la misma profundidad y en diferentes horas del día, para posteriormente listar y comparar los datos adquiridos por el sensor de humedad (FC-28) con los datos arrojados por el dispositivo comercial 2, Tabla 26.

Tabla 26. Tabla de mediciones de humedad, del autor.

#	Humedad (%)	
	Ideal	Real
1	48	44
2	41	35
3	82	84
4	83	80
5	69	67
6	61	62
7	33	32
8	44	43
9	63	62
10	31	30

Tabla 27. Estadísticas de grupo (variable humedad), del autor.

	Tipo sensor	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Humedad	Real	10	53,9000	19,76220	6,24936
	Ideal	10	55,5000	18,95169	5,99305

La Tabla 27 muestra que las lecturas de humedad en condiciones reales presentan una ligera variación respecto a las lecturas en condiciones ideales, además, en el diagrama de cajas de la Figura 43 se observa que la dispersión es similar para los dos casos.

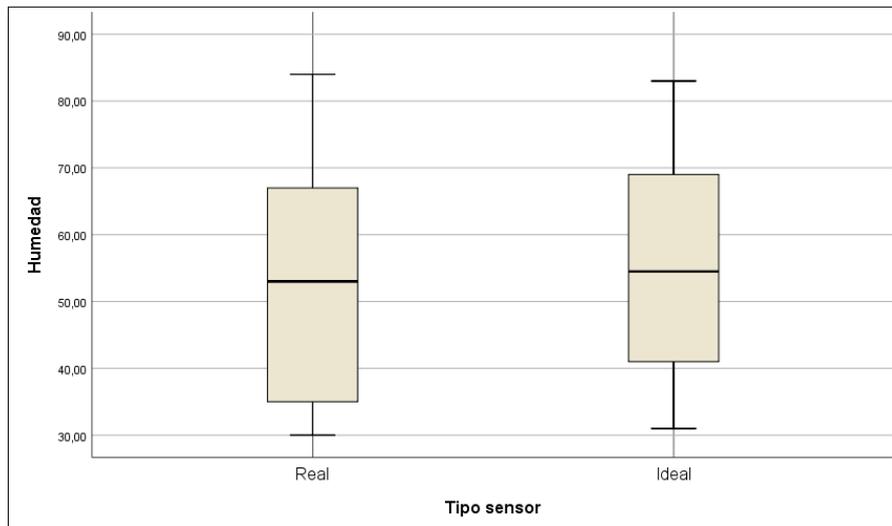


Figura 43. Diagrama de cajas y bigotes (Variable Humedad), del autor.

4.3.2.1 Prueba de hipótesis

Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: U_r=U_i$$

El promedio de los datos de humedad adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente igual al promedio de los datos de humedad proporcionados por el dispositivo comercial 2.

Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: U_r \neq U_i$$

El promedio de los datos de humedad adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente diferente al promedio de los datos de humedad proporcionados por el dispositivo comercial 2.

Resultados de prueba de hipótesis

Tabla 28. Prueba de muestras independientes (variable humedad), del autor.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Humedad	Se asumen varianzas iguales	0,073	0,790	-0,185	18	0,855
	No se asumen varianzas iguales			-0,185	17,969	0,855

Como de la Tabla 28 $p\text{-valor} = 0.855 > 0.05$ entonces se avala la hipótesis nula H_0 . Es decir, el promedio de los datos de humedad adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente igual al promedio de los datos de humedad proporcionados por el dispositivo comercial 2.

4.3.3 Sensor de pH

Se tomaron lecturas en diferentes sitios dentro del cultivo, a la misma profundidad y en diferentes horas del día, para posteriormente listar y comparar los datos adquiridos por el sensor de pH del suelo con los datos arrojados por el dispositivo comercial 1, Tabla 29.

Tabla 29. Tabla de mediciones de pH, del autor.

#	pH	
	Real	Ideal
1	7	7
2	7	7
3	5	5,4
4	5	5,2
5	5	5,4
6	5	5,4
7	6	6
8	6	6
9	6	6,5
10	6	6,5
11	7	7
12	7	7
13	7	7
14	7	7
15	7	7

Tabla 30. Estadísticas de grupo (variable pH), del autor.

	Tipo de sensor	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Acidez pH	Real	15	6,2000	0,86189	0,22254
	Ideal	15	6,3600	0,72091	0,18614

La Tabla 30 muestra que las lecturas en condiciones reales presentan una ligera variación respecto a las lecturas en condiciones ideales, además, en el diagrama de cajas de la Figura 44 se observa una dispersión similar para los dos casos.

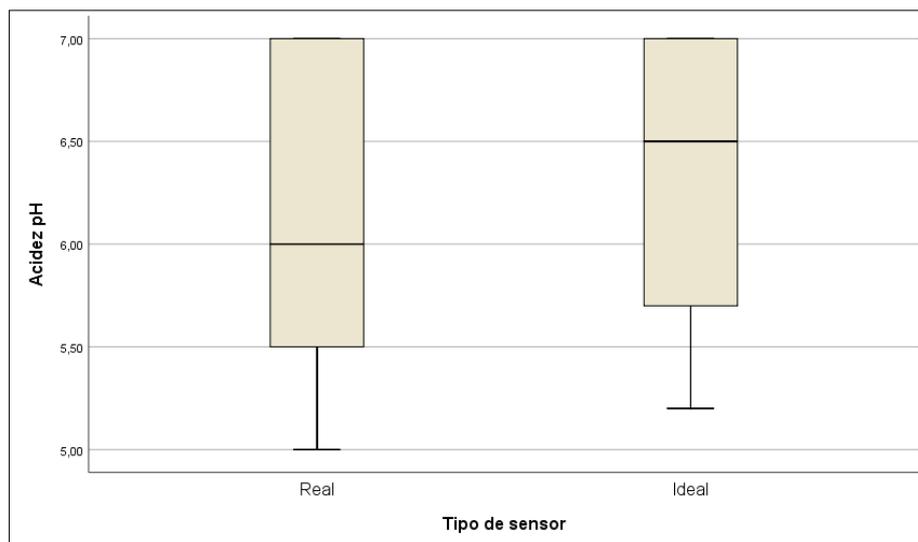


Figura 44. Diagrama de cajas y bigotes (Variable pH), del autor.

4.3.3.1 Prueba de hipótesis

Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: U_s=U_c$$

El promedio de los datos de pH adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente igual al promedio de los datos de pH proporcionados por el dispositivo comercial 1.

Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: U_s \neq U_c$$

El promedio de los datos de pH adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente diferente al promedio de los datos de pH proporcionados por el dispositivo comercial 1.

Resultados de prueba de hipótesis

Tabla 31. Prueba de muestras independientes (variable pH), del autor.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)
Acidez pH	Se asumen varianzas iguales	0,805	0,377	-0,551	28	0,586
	No se asumen varianzas iguales			-0,551	27,152	0,586

Como de la Tabla 31 $p\text{-valor} = 0.586 > 0.05$ entonces se avala la hipótesis nula H_0 . Es decir, el promedio de los datos de pH adquiridos por la red de sensores inalámbricos es estadísticamente igual al promedio de los datos de pH proporcionados por el dispositivo comercial 1.

4.4 Publicación de resultados en Thingspeak

Al realizar el almacenamiento de los datos en THINGSPEAK, se obtuvo resultados satisfactorios al momento de visualizar los niveles en los que se encuentra cada variable desde computadores y equipos móviles (soporte en la plataforma Android e iOS). En la Figura 45 se muestra las gráficas publicadas por THINGSPEAK de los sensores de humedad pH y temperatura en la página web, mientras que en la Figura 46 se observa en la aplicación móvil Android.

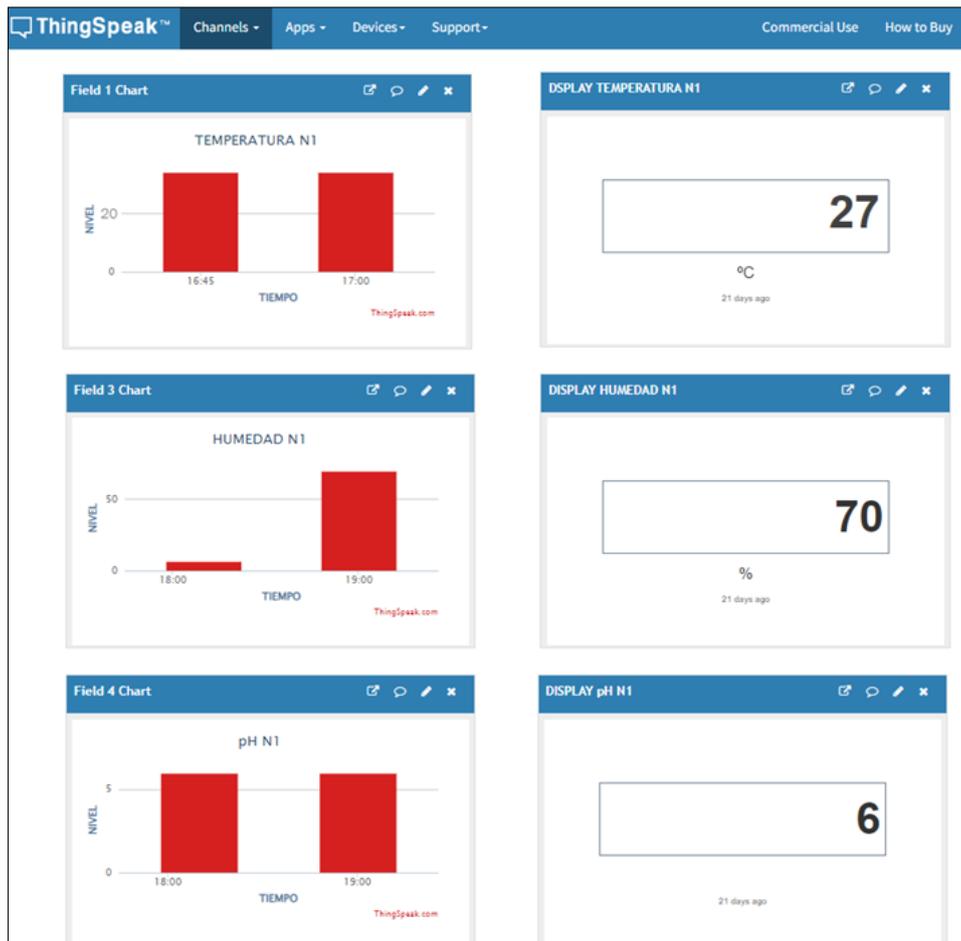


Figura 45. Visualización de datos en Thingspeak Web, del autor.

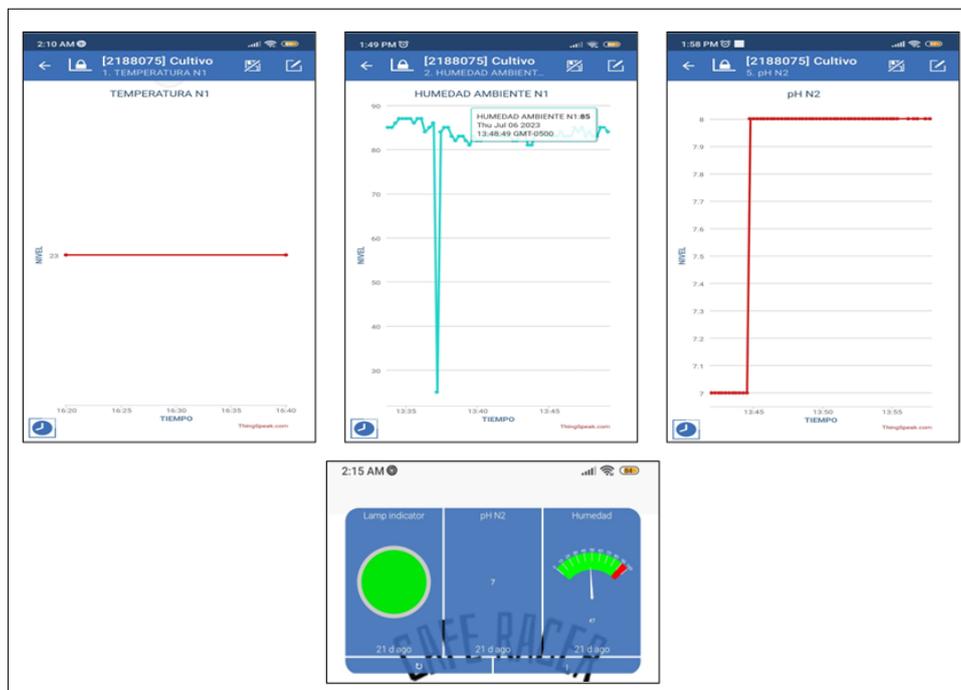


Figura 46. Visualización de datos en aplicación móvil de Thingspeak, del autor.

4.5 Mensajes de Alerta

Se realizó el envío de alertas a través de la red social WhatsApp informando que los niveles tanto de temperatura, humedad y pH no son los idóneos

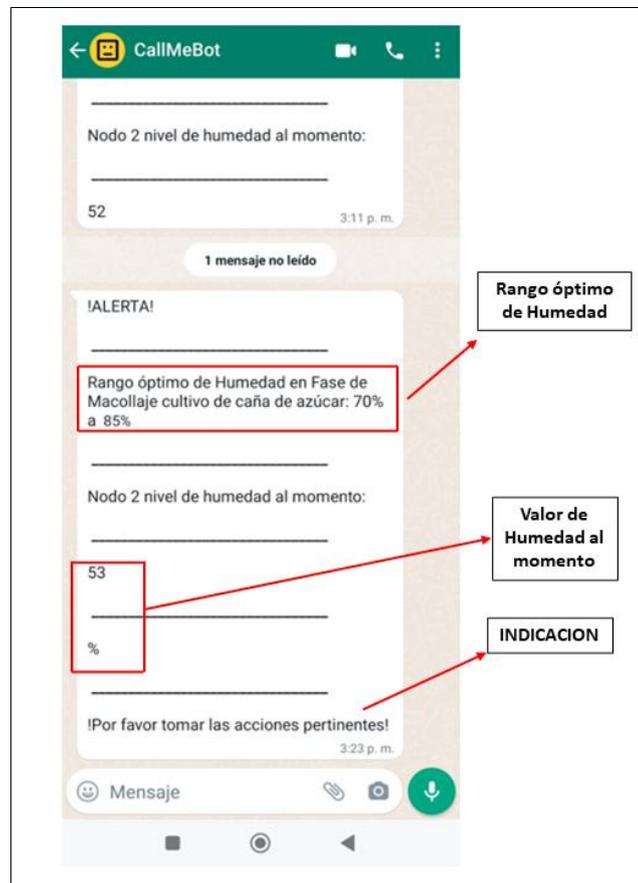


Figura 47. Mensaje de Alerta, del autor.

En la Figura 47 se observa la estructura del mensaje de alerta recibido en la red social WhatsApp, en primer lugar, muestra el rango de valores óptimos, a continuación, el valor al momento y finalmente una corta indicación para el agricultor.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez concluido el proyecto de investigación se desarrollaron las siguientes conclusiones:

- Se implementó una red de sensores WSN utilizando tecnología ZigBee por ser eficiente en energía, de bajo costo, confiable y por ser una tecnología muy utilizada para aplicaciones basadas en redes de sensores inalámbricos dentro del área agrícola.
- La tecnología inalámbrica ZigBee permitió con éxito la transferencia de datos desde los sensores hasta el nodo coordinador, además, se observó que las lecturas adquiridas por los sensores de temperatura, humedad y pH presentan una dispersión similar a la de los datos proporcionados por los dispositivos comerciales y por la aplicación del tiempo de Google, obteniendo así resultados satisfactorios para el cumplimiento de este proyecto de investigación.
- La implementación de los dispositivos en conjunto con la plataforma Thingspeak, posibilitaron la visualización de los niveles de humedad, pH y temperatura del terreno, proporcionando al usuario el monitoreo del sembrío ya sea a través de la web o del celular, por otra parte, mediante el mensaje de alerta recibido en la red social WhatsApp el usuario puede tomar acciones que rectifiquen los niveles de las variables en mención.

5.2 Recomendaciones

Una vez concluido el proyecto de investigación se desarrollaron las siguientes recomendaciones:

- Es necesario realizar un estudio que mejore el sistema de carga y almacenamiento energético, a fin de que cada nodo alcance un funcionamiento de 24 horas de forma permanente y estable.
- Se sugiere continuar con la recolección de datos durante las cuatro etapas de crecimiento de la caña de azúcar, con el fin de obtener una mejor confiabilidad y a su vez para analizar el comportamiento del sistema en diferentes condiciones climáticas y para periodos largos de tiempo.
- En caso de no contar con una red inalámbrica o una red de datos se recomienda utilizar un módulo GSM para el envío de mensajes SMS.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Chiquito and C. Paguay, “Diseño de un prototipo de sistema de riego automatizado mediante una red de sensores que mida la humedad del suelo en los campos agrícolas y permita controlar el consumo de agua,” Universidad de Guayaquil, 2020.
- [2] J. Laverde and C. Laverde, “Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: Una propuesta para sistemas de riego,” 2021. doi: <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i2.2542>.
- [3] J. L. Gomez, “El Internet De Las Cosas Y La Agricultura,” 2018. <https://www.agronegocios.co/analisis/jose-luis-gomez-2775031/el-internet-de-las-cosas-y-la-agricultura-2775030> (accessed Mar. 31, 2022).
- [4] E. Crespo, “Estudio y Análisis del protocolo IEEE 802.11ah para el desarrollo del Internet de las cosas (IoT) en el sector industrial.,” Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2020.
- [5] A. Abdollahi, K. Rejeb, A. Rejeb, M. M. Mostafa, and S. Zailani, “Wireless sensor networks in agriculture: Insights from bibliometric analysis,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 21, 2021, doi: 10.3390/su132112011.
- [6] G. Telimbela, “Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Guayllabamba,” Chimbo, 2015.
- [7] C. J. Castro-Armijos, E. Prado-Carpio, J. R. Paladines-Romero, and A. Cervantes-Álava, “Factores Que Afectan Al Cultivo De Caña De Azúcar Para Producción De Bioetanol En Ecuador,” *European Scientific Journal, ESJ*, vol. 13, no. 24, p. 58, Aug. 2017, doi: 10.19044/esj.2017.v13n24p58.
- [8] M. Mera Teresa Alejandra Tutor and M. José Luis Jinez Tapia Riobamba, “Implementación de un Sistema de Control de Factores Abióticos y Bióticos para Determinar la Productividad del Cultivo de Papas Mediante una Red de Sensores,” 2022.
- [9] H. Mora and J. Rosas, “Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en el internet de las cosas (IoT). Caso de estudio cultivo de frijol,” Universidad Ricardo Palma, 2019.
- [10] E. Collado, E. Valdés, A. García, and Y. Sáez, “Design and implementation of a low-cost IoT-based agroclimatic monitoring system for greenhouses,” *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, vol. 5, no. 4, pp. 251–283, 2021, doi: 10.3934/electreng.2021014.
- [11] L. Biqing, L. Yongfa, T. Miao, and Z. Shiyong, “Design and implementation of sugarcane growth monitoring system based on RFID and ZigBee,” *International Journal of Online Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 96–106, 2018, doi: 10.3991/ijoe.v14i03.8413.
- [12] K. M. Divakar and K. R. Sushma, “Iot Technology in Smart Farming,” *International Research Journal of ...*, vol. 5, no. 5, 2018.
- [13] M. Cruz, S. Mafra, E. Teixeira, and F. Figueiredo, “Smart Strawberry Farming Using Edge Computing and IoT,” *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 15, 2022, doi: 10.3390/s22155866.

- [14] H. U. Rehman and K. I. Malik, "Precise Monitoring of Sugarcane Crop in Pakistan using Support Vector Machine," vol. 1, no. January, pp. 21–30, 2022.
- [15] D. DE General Investigacion Y E Xtension Agricola, "ASPECTOS TECNICOS SOBRE CUARENTA Y CINCO CULTIVOS AGRICOLAS DE COSTA RICA," San José, Costa Rica, 1991.
- [16] A. Máter *et al.*, "Origen y elaboración agroindustrial de la caña de azúcar," Lima, 2019.
- [17] Jorge Mendoza, Darío Gualle, Patricia Gómez, Alfonso Ayora, Iliana Martínez, and Carlos Cabezas, "PROGRESOS EN EL MANEJO DE PLAGAS EN CAÑA DE AZUCAR EN ECUADOR", Accessed: May 08, 2023. [Online]. Available: http://aeta.org.ec/2do%20congreso%20cana/art_campo/MENDOZA%20cana.pdf
- [18] J. Som-Ard, C. Atzberger, E. Izquierdo-Verdiguier, F. Vuolo, and M. Immitzer, "Remote sensing applications in sugarcane cultivation: A review," *Remote Sens (Basel)*, vol. 13, no. 20, pp. 1–46, 2021, doi: 10.3390/rs13204040.
- [19] B. Abate, "Improving the efficiency of sugarcane production using Internet of Things (IOT): The case of Wonji/Shoa," St. Mary's University, 2021.
- [20] P. Sukyai *et al.*, "Research and Development Prospects for Sugarcane and Sugar Industry in Thailand," *Sugar Tech*, vol. 18, no. 6, pp. 583–587, 2016, doi: 10.1007/s12355-016-0495-1.
- [21] J. Khonghintaisong, P. Songsri, and N. Jongrunklang, "Understanding growth rate patterns among different drought resistant sugarcane cultivars during plant and ratoon crops encountered water deficit at early growth stage under natural field conditions," *Agronomy*, vol. 11, no. 10, 2021, doi: 10.3390/agronomy11102083.
- [22] Eco business Fund Development Facility, Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos, and Asociación de bancos del Ecuador, "GUÍA PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR," 2021.
- [23] A. Belghith and M. S. Obaidat, *Wireless sensor networks applications to smart homes and cities*. Elsevier Inc., 2016. doi: 10.1016/B978-0-12-803454-5.00002-X.
- [24] M. P. Langer, C. Leones Bazzi, G. Patricia, and L. Sepulveda, "Estudio de tecnologías y protocolos de comunicación para redes de sensores inalámbricos aplicados a la agricultura: revisión bibliográfica," *CAI, Congreso Argentino de Agroinformática Estudio*, pp. 368–381, 2020.
- [25] B. Bravo and L. Belduma, "Diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del tránsito vehicular y la contaminación co2 dentro de un sector urbano," Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [26] P. Singh *et al.*, "Magnetic Induction Technology-Based Wireless Sensor Network for Underground Infrastructure, Monitoring Soil Conditions, and Environmental Observation Applications: Challenges and Future Aspects," *J Sens*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/9332917.

- [27] N. H. Motlagh, M. Mohammadrezaei, J. Hunt, and B. Zakeri, "Internet of things (IoT) and the energy sector," *Energies*, vol. 13, no. 2. 2020. doi: 10.3390/en13020494.
- [28] M. Pérez, M. Mendoza, and M. Suarez, "Paradigma IoT: desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura," *Espacios*, vol. 40, no. 18, pp. 1–6, 2019, [Online]. Available: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n18/a19v40n18p06.pdf>
- [29] T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuwanshi, "Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 118. 2015. doi: 10.1016/j.compag.2015.08.011.
- [30] G. de Melo Junior, R. M. de Oliveira Filho, S. L. Vieira, S. O. de Macedo, G. P. Furriel, and B. C. R. Silva, "Desenvolvimento de uma rede de sensores wireless utilizando protocolo ZigBee para monitoramento de dados e acionamento de atuadores," *Research, Society and Development*, vol. 9, no. 10, 2020, doi: 10.33448/rsd-v9i10.8651.
- [31] V. K. Quy *et al.*, "IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 7, p. 3396, 2022, doi: 10.3390/app12073396.
- [32] S. Prakash, "Zigbee based wireless sensor network architecture for agriculture applications," *Proceedings of the 3rd International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2020*, no. IcSSIP, pp. 709–712, 2020, doi: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214086.
- [33] L. Ting, M. Khan, A. Sharma, and M. D. Ansari, "A secure framework for IoT-based smart climate agriculture system: Toward blockchain and edge computing," *Journal of Intelligent Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 221–236, 2022, doi: 10.1515/jisys-2022-0012.
- [34] Mosquera Leandro and Cevallos Cesas, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO IoT PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES APLICADOS AL CULTIVO DE ARROZ UTILIZANDO ESP32 Y THINGSPEAK," 2022.
- [35] Grupo electrostore, "TARJETA UNO R3 SMD CON CH340", Accessed: Aug. 02, 2023. [Online]. Available: <https://grupoelectrostore.com/>
- [36] Luis Patricio Sumba Quito and Danny Leonel Torres Simancas, "Diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de factores ambientales abióticos que afectan al cultivo de solanum phureja (Papa chaucha amarilla)," 2019.
- [37] Mecatronica, "XBee Explorer adaptador mini USB," 2009, Accessed: Aug. 03, 2023. [Online]. Available: Este programador para XBee es lo más práctico que podrás encontrar para programar tus módulos y establecer comunicación entre tu computadora y otro módulo a distancia. Se conecta directamente al puerto USB de tu computadora, no requiere cables adicionales. Funciona con todos los módulos de XBee: Series 1 y 2.5 en versiones estándar y pro. Esta versión incorpora un regulador de voltaje de 1A lo que te permitirá emplear módulos XBee Pro sin problemas de alimentación. También posee un botón de reset para reiniciar el XBee tanto en operación como en modo de configuración.

- [38] Electrostore, “MÓDULO NODE MCU ESP8266 V3 LUA WIFI CH340”, Accessed: Aug. 02, 2023. [Online]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/esp/modulo-node-mcu-esp8266-v3-lua-wifi-ch340/>
- [39] ELECTRONICAS AFG, “Sensor De Ph Suelo Agricola Cultivo Analogo 0-5v Arduino”.
- [40] Electroestore, “MÓDULO ELEVADOR DE VOLTAJE 2A MT3608 AJUSTABLE STEP-UP BOOST,” 2019, Accessed: Aug. 03, 2023. [Online]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/reguladores-de-voltaje/modulo-elevador-de-voltaje-2a-mt3608-ajustable-step-up-boost/>
- [41] SanDoRobotics, “Módulo de Carga con Circuito de Protección – TP4056 (USB Tipo ‘C’)”, Accessed: Aug. 03, 2023. [Online]. Available: <https://sandorobotics.com/producto/hs2334/>
- [42] Novatronic, “Panel solar 1W 5V 200MA 110*80mm”, Accessed: Aug. 07, 2023. [Online]. Available: <https://novatronicec.com/index.php/product/panel-solar-1w-5v-200ma-11080mm/>
- [43] I. Arduino, “Software | Arduino,” *Microsoft*. 2022.
- [44] J. E. Bickel and S. D. Kim, “Verification of The Weather Channel probability of precipitation forecasts,” *Mon Weather Rev*, vol. 136, no. 12, pp. 4867–4881, 2008, doi: 10.1175/2008MWR2547.1.
- [45] R. Candia and G. Caiozzi, “Intervalos de confianza Confidence intervals MEDICINA BASADA EN EVIDENCIA”.

ANEXOS

ANEXO 1. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Tabla 32. Descripción de los costos de implementación del sistema

Descripción	Cant	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
XBee S2C Antena Externa	3	65	195
Adaptador Socket Shield XBee	3	9	27
Módulo Xbee Explorer Usb+ Cable Usb	1	10	10
Arduino UNO R3	3	15	45
Módulo Esp8266 WIFI	1	12	12
Módulo sensor de humedad de suelo para Arduino	3	3	9
DHT22 Módulo sensor de temperatura	3	7	21
Sensor de pH del suelo	3	70	210
Módulo elevador de voltaje 2A MT3608 ajustable STEP BOOST	6	3	18
Módulo cargador de batería tipo C	3	3	9
Batería recargable AX UitraFlrc 18650 3.7 V 4800mAh Li-Ion	6	3	18
Panel solar	3	12	36
Cajas a medida	3	15	45
Gastos varios	1	200	250
TOTAL			905

ANEXO 2. PROGRAMACIÓN

ARDUINO1

```
UNOSEND.ino
1  const int sensor=A0;
2  const int sensorph=A3;
3  void setup() {
4      // put your setup code here, to run once:
5      Serial.begin(9600);
6  }
7
8  void loop() {
9      // put your main code here, to run repeatedly:
10     int sensorValue = analogRead(sensor);
11     int sensorphValue = analogRead(sensorph);
12     int m = map(sensorValue, 0, 1023, 100, 0);
13     int e = map(sensorphValue, 0, 1023, 9, 3);
14
15     //Serial.println(sensorValue);
16     Serial.print("M");
17     Serial.print(m);
18     Serial.println("%");
19     //Serial.println(sensorphValue);
20     Serial.print("E");
21     Serial.println(e);
22     delay(8000);
23 }
24
```

ARDUINO 2

```
uno2.ino
1  #include "SoftwareSerial.h"
2  #define DHTPIN 5 // what digital pin we're connected to
3  #include "DHT.h"
4  #define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
5  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
6  int received = 0;
7  const int sensor=A0;
8  const int sensorph=A3;
9
10
11 void setup() {
12
13     Serial.begin(9600);
14     dht.begin();
15 }
16
17 void loop() {
18     // put your main code here, to run repeatedly:
19     float t = dht.readTemperature();
20     float h = dht.readHumidity();
21     int sensorValue = analogRead(sensor);
22     int sensorphValue = analogRead(sensorph);
23     int u = map(sensorValue, 0, 1023, 100, 0);
24     int p = map(sensorphValue, 0, 1023, 9, 3);
25     received = Serial.read();
26     //sensor de humedad y temperatura;
27     delay(8000);
28     Serial.print("H");
29     Serial.print(h);
30     Serial.print(",");
31     Serial.println(" %\t");
32     delay(8000);
33     Serial.print("T");
34     Serial.print(t);
35     Serial.println(" *C ");
36
37     delay(8000);
38     // sensor humedad de suelo
39     Serial.print("U");
40     Serial.print(u);
41     Serial.println("%");
42     delay(8000);
43     Serial.print("P");
44     Serial.println(p);
45     delay(8000);
46 }

```

ARDUINO 3

Arduino3.ino

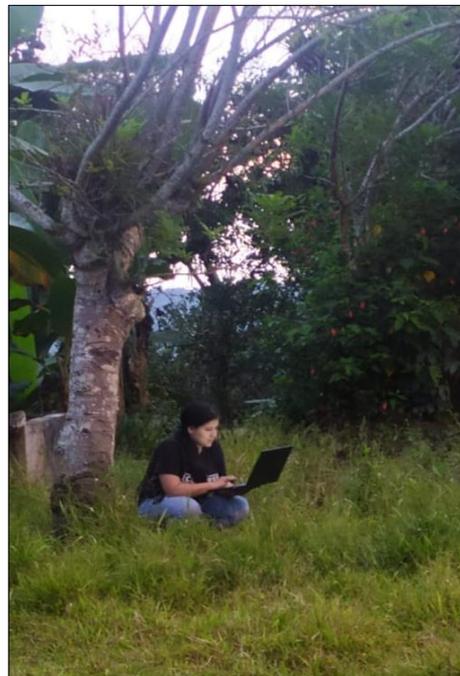
```
1  const int sensor=A0;
2  const int sensorph=A3;
3  void setup() {
4  | // put your setup code here, to run once:
5  Serial.begin(9600);
6  }
7
8  void loop() {
9  | // put your main code here, to run repeatedly:
10 int sensorValue = analogRead(sensor);
11 int sensorphValue = analogRead(sensorph);
12 int d = map(sensorValue, 0, 1023, 100, 0);
13 int j = map(sensorphValue, 0, 1023, 9, 3);
14
15 | //Serial.println(sensorValue);
16 Serial.print("D");
17 Serial.print(d);
18 Serial.println("%");
19 delay(9000);
20 | //Serial.println(sensorphValue);
21 Serial.print("J");
22 Serial.println(j);
23 delay(9000);
24 }
```

ESP8266

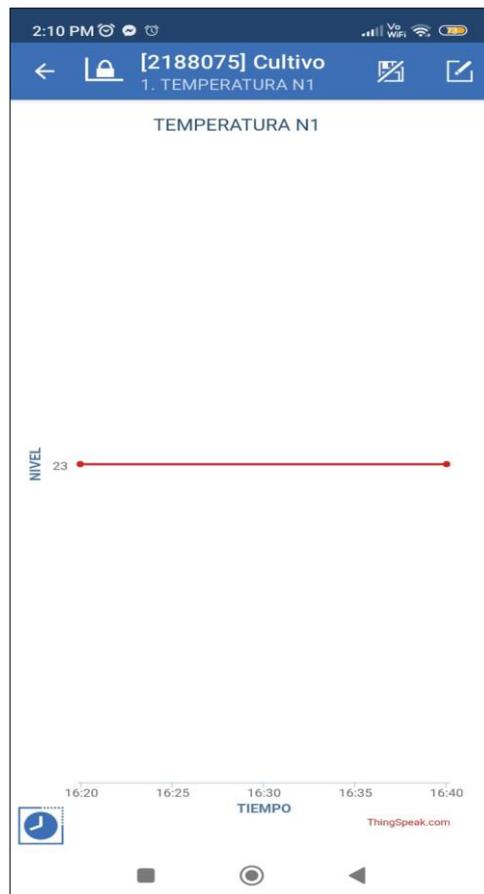
ULTIMAesp8266.ino

```
1  #include "SoftwareSerial.h"
2  #include <ESP8266WiFi.h>
3  //-----
4  // #define LEDonBoard 2 //--> Definimos un On Board LED, usado p.
5
6  String apiKey = "ZR57HL6NNBZESQGB"; //--> ingrese su clave API de
7  //String apiKey = "ZR57HL6NNBZESQGB";
8  //-----SSID and Password of y
9  const char* ssid = "Triada";
10 const char* password = "1803031630";
11 //-----
12 //-----ThingSpeak Server
13 const char* server = "api.thingspeak.com";
14 WiFiClient client;
15 //int led = 2;
16 //char received = 0;
17 int h;
18 int t;
19 int u;
20 int p;
21
22 Serial.println("");
23 Serial.print("Connecting");
24 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
25 | Serial.print("");
26 | //-----Make the On B
27 |
28 | //-----
29 | Serial.println("");
30 | Serial.print("Successfully connected to : ");
31 | Serial.println(ssid);
32 | }
33 }
34
35 void loop() {
36 | /* if (XBee.available() >0) {
37 | char dato= XBee.read();
38 | if(dato=='H'){
39 | h= XBee.parseInt();
40 | Serial.println(h);
41 | }
42 | if(dato=='T'){
43 | t= XBee.parseInt();
44 | Serial.println(t);
45 | }
46 | if(dato=='U'){
47 | u= XBee.parseInt();
48 | Serial.println(u);
49 | }
50 | if(dato=='P'){
51 | p= XBee.parseInt();
52 | Serial.println(p);
53 | }
54 | if(dato=='M'){
55 | }
56 | }
57 | }
58 | }
59 | }
60 | }
61 | }
62 | }
63 | }
64 | }
65 | }
66 | }
67 | }
68 | }
69 | }
70 | }
71 | }
72 | }
73 | }
74 | }
75 | }
76 | }
77 | }
78 | }
79 | }
80 | }
81 | }
82 | }
83 | }
84 | }
85 | }
86 | }
87 | }
88 | }
89 | }
90 | }
91 | }
92 | }
93 | }
94 | }
95 | }
96 | }
97 | }
98 | }
99 | }
100 | }
101 | }
102 | }
103 | }
104 | }
105 | }
106 | }
107 | }
108 | }
109 | }
110 | }
111 | }
112 | }
113 | }
114 | }
115 | }
116 | }
117 | }
118 | }
119 | }
120 | }
121 | }
122 | }
123 | }
124 | }
125 | }
126 | }
127 | }
128 | }
129 | }
130 | }
131 | }
132 | }
133 | }
134 | }
135 | }
136 | }
137 | }
138 | }
139 | }
140 | }
141 | }
142 | }
143 | }
144 | }
145 | }
146 | }
147 | }
148 | }
149 | }
150 | }
151 | }
152 | }
153 | }
154 | }
155 | }
156 | }
157 | }
158 | }
159 | }
160 | }
161 | }
162 | }
163 | }
164 | }
165 | }
166 | }
167 | }
168 | }
169 | }
170 | }
171 | }
172 | }
173 | }
174 | }
175 | }
176 | }
177 | }
178 | }
179 | }
180 | }
181 | }
182 | }
183 | }
184 | }
185 | }
186 | }
187 | }
188 | }
189 | }
190 | }
191 | }
192 | }
193 | }
194 | }
195 | }
196 | }
197 | }
198 | }
199 | }
200 | }
201 | }
202 | }
203 | }
204 | }
205 | }
206 | }
207 | }
208 | }
209 | }
210 | }
211 | }
212 | }
213 | }
214 | }
215 | }
216 | }
217 | }
218 | }
219 | }
220 | }
221 | }
222 | }
223 | }
224 | }
225 | }
226 | }
227 | }
228 | }
229 | }
230 | }
231 | }
232 | }
233 | }
234 | }
235 | }
236 | }
237 | }
238 | }
239 | }
240 | }
241 | }
242 | }
243 | }
244 | }
245 | }
246 | }
247 | }
248 | }
249 | }
250 | }
251 | }
252 | }
253 | }
254 | }
255 | }
256 | }
257 | }
258 | }
259 | }
260 | }
261 | }
262 | }
263 | }
264 | }
265 | }
266 | }
267 | }
268 | }
269 | }
270 | }
271 | }
272 | }
273 | }
274 | }
275 | }
276 | }
277 | }
278 | }
279 | }
280 | }
281 | }
282 | }
283 | }
284 | }
285 | }
286 | }
287 | }
288 | }
289 | }
290 | }
291 | }
292 | }
293 | }
294 | }
295 | }
296 | }
297 | }
298 | }
299 | }
300 | }
301 | }
302 | }
303 | }
304 | }
305 | }
306 | }
307 | }
308 | }
309 | }
310 | }
311 | }
312 | }
313 | }
314 | }
315 | }
316 | }
317 | }
318 | }
319 | }
320 | }
321 | }
322 | }
323 | }
324 | }
325 | }
326 | }
327 | }
328 | }
329 | }
330 | }
331 | }
332 | }
333 | }
334 | }
335 | }
336 | }
337 | }
338 | }
339 | }
340 | }
341 | }
342 | }
343 | }
344 | }
345 | }
346 | }
347 | }
348 | }
349 | }
350 | }
351 | }
352 | }
353 | }
354 | }
355 | }
356 | }
357 | }
358 | }
359 | }
360 | }
361 | }
362 | }
363 | }
364 | }
365 | }
366 | }
367 | }
368 | }
369 | }
370 | }
371 | }
372 | }
373 | }
374 | }
375 | }
376 | }
377 | }
378 | }
379 | }
380 | }
381 | }
382 | }
383 | }
384 | }
385 | }
386 | }
387 | }
388 | }
389 | }
390 | }
391 | }
392 | }
393 | }
394 | }
395 | }
396 | }
397 | }
398 | }
399 | }
400 | }
401 | }
402 | }
403 | }
404 | }
405 | }
406 | }
407 | }
408 | }
409 | }
410 | }
411 | }
412 | }
413 | }
414 | }
415 | }
416 | }
417 | }
418 | }
419 | }
420 | }
421 | }
422 | }
423 | }
424 | }
425 | }
426 | }
427 | }
428 | }
429 | }
430 | }
431 | }
432 | }
433 | }
434 | }
435 | }
436 | }
437 | }
438 | }
439 | }
440 | }
441 | }
442 | }
443 | }
444 | }
445 | }
446 | }
447 | }
448 | }
449 | }
450 | }
451 | }
452 | }
453 | }
454 | }
455 | }
456 | }
457 | }
458 | }
459 | }
460 | }
461 | }
462 | }
463 | }
464 | }
465 | }
466 | }
467 | }
468 | }
469 | }
470 | }
471 | }
472 | }
473 | }
474 | }
475 | }
476 | }
477 | }
478 | }
479 | }
480 | }
481 | }
482 | }
483 | }
484 | }
485 | }
486 | }
487 | }
488 | }
489 | }
490 | }
491 | }
492 | }
493 | }
494 | }
495 | }
496 | }
497 | }
498 | }
499 | }
500 | }
501 | }
502 | }
503 | }
504 | }
505 | }
506 | }
507 | }
508 | }
509 | }
510 | }
511 | }
512 | }
513 | }
514 | }
515 | }
516 | }
517 | }
518 | }
519 | }
520 | }
521 | }
522 | }
523 | }
524 | }
525 | }
526 | }
527 | }
528 | }
529 | }
530 | }
531 | }
532 | }
533 | }
534 | }
535 | }
536 | }
537 | }
538 | }
539 | }
540 | }
541 | }
542 | }
543 | }
544 | }
545 | }
546 | }
547 | }
548 | }
549 | }
550 | }
551 | }
552 | }
553 | }
554 | }
555 | }
556 | }
557 | }
558 | }
559 | }
560 | }
561 | }
562 | }
563 | }
564 | }
565 | }
566 | }
567 | }
568 | }
569 | }
570 | }
571 | }
572 | }
573 | }
574 | }
575 | }
576 | }
577 | }
578 | }
579 | }
580 | }
581 | }
582 | }
583 | }
584 | }
585 | }
586 | }
587 | }
588 | }
589 | }
590 | }
591 | }
592 | }
593 | }
594 | }
595 | }
596 | }
597 | }
598 | }
599 | }
600 | }
601 | }
602 | }
603 | }
604 | }
605 | }
606 | }
607 | }
608 | }
609 | }
610 | }
611 | }
612 | }
613 | }
614 | }
615 | }
616 | }
617 | }
618 | }
619 | }
620 | }
621 | }
622 | }
623 | }
624 | }
625 | }
626 | }
627 | }
628 | }
629 | }
630 | }
631 | }
632 | }
633 | }
634 | }
635 | }
636 | }
637 | }
638 | }
639 | }
640 | }
641 | }
642 | }
643 | }
644 | }
645 | }
646 | }
647 | }
648 | }
649 | }
650 | }
651 | }
652 | }
653 | }
654 | }
655 | }
656 | }
657 | }
658 | }
659 | }
660 | }
661 | }
662 | }
663 | }
664 | }
665 | }
666 | }
667 | }
668 | }
669 | }
670 | }
671 | }
672 | }
673 | }
674 | }
675 | }
676 | }
677 | }
678 | }
679 | }
680 | }
681 | }
682 | }
683 | }
684 | }
685 | }
686 | }
687 | }
688 | }
689 | }
690 | }
691 | }
692 | }
693 | }
694 | }
695 | }
696 | }
697 | }
698 | }
699 | }
700 | }
701 | }
702 | }
703 | }
704 | }
705 | }
706 | }
707 | }
708 | }
709 | }
710 | }
711 | }
712 | }
713 | }
714 | }
715 | }
716 | }
717 | }
718 | }
719 | }
720 | }
721 | }
722 | }
723 | }
724 | }
725 | }
726 | }
727 | }
728 | }
729 | }
730 | }
731 | }
732 | }
733 | }
734 | }
735 | }
736 | }
737 | }
738 | }
739 | }
740 | }
741 | }
742 | }
743 | }
744 | }
745 | }
746 | }
747 | }
748 | }
749 | }
750 | }
751 | }
752 | }
753 | }
754 | }
755 | }
756 | }
757 | }
758 | }
759 | }
760 | }
761 | }
762 | }
763 | }
764 | }
765 | }
766 | }
767 | }
768 | }
769 | }
770 | }
771 | }
772 | }
773 | }
774 | }
775 | }
776 | }
777 | }
778 | }
779 | }
780 | }
781 | }
782 | }
783 | }
784 | }
785 | }
786 | }
787 | }
788 | }
789 | }
790 | }
791 | }
792 | }
793 | }
794 | }
795 | }
796 | }
797 | }
798 | }
799 | }
800 | }
801 | }
802 | }
803 | }
804 | }
805 | }
806 | }
807 | }
808 | }
809 | }
810 | }
811 | }
812 | }
813 | }
814 | }
815 | }
816 | }
817 | }
818 | }
819 | }
820 | }
821 | }
822 | }
823 | }
824 | }
825 | }
826 | }
827 | }
828 | }
829 | }
830 | }
831 | }
832 | }
833 | }
834 | }
835 | }
836 | }
837 | }
838 | }
839 | }
840 | }
841 | }
842 | }
843 | }
844 | }
845 | }
846 | }
847 | }
848 | }
849 | }
850 | }
851 | }
852 | }
853 | }
854 | }
855 | }
856 | }
857 | }
858 | }
859 | }
860 | }
861 | }
862 | }
863 | }
864 | }
865 | }
866 | }
867 | }
868 | }
869 | }
870 | }
871 | }
872 | }
873 | }
874 | }
875 | }
876 | }
877 | }
878 | }
879 | }
880 | }
881 | }
882 | }
883 | }
884 | }
885 | }
886 | }
887 | }
888 | }
889 | }
890 | }
891 | }
892 | }
893 | }
894 | }
895 | }
896 | }
897 | }
898 | }
899 | }
900 | }
901 | }
902 | }
903 | }
904 | }
905 | }
906 | }
907 | }
908 | }
909 | }
910 | }
911 | }
912 | }
913 | }
914 | }
915 | }
916 | }
917 | }
918 | }
919 | }
920 | }
921 | }
922 | }
923 | }
924 | }
925 | }
926 | }
927 | }
928 | }
929 | }
930 | }
931 | }
932 | }
933 | }
934 | }
935 | }
936 | }
937 | }
938 | }
939 | }
940 | }
941 | }
942 | }
943 | }
944 | }
945 | }
946 | }
947 | }
948 | }
949 | }
950 | }
951 | }
952 | }
953 | }
954 | }
955 | }
956 | }
957 | }
958 | }
959 | }
960 | }
961 | }
962 | }
963 | }
964 | }
965 | }
966 | }
967 | }
968 | }
969 | }
970 | }
971 | }
972 | }
973 | }
974 | }
975 | }
976 | }
977 | }
978 | }
979 | }
980 | }
981 | }
982 | }
983 | }
984 | }
985 | }
986 | }
987 | }
988 | }
989 | }
990 | }
991 | }
992 | }
993 | }
994 | }
995 | }
996 | }
997 | }
998 | }
999 | }
1000 | }
```

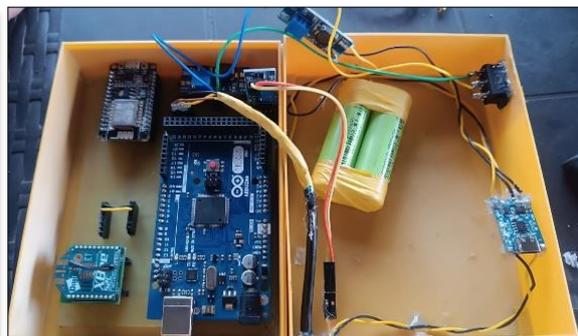
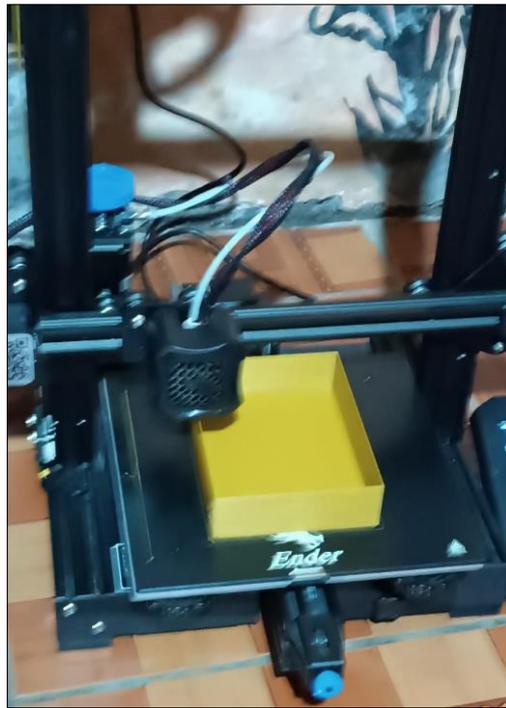
ANEXO 3. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN



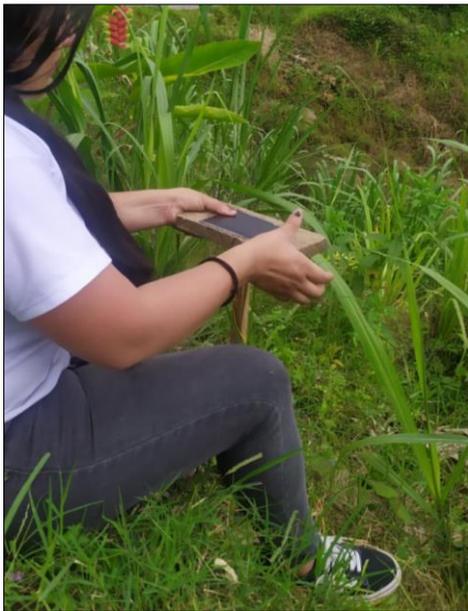
ANEXO 5. VALIDACION DE DATOS



ANEXO 4. CAJAS DE PROTECCIÓN CON LOS DISPOSITIVOS

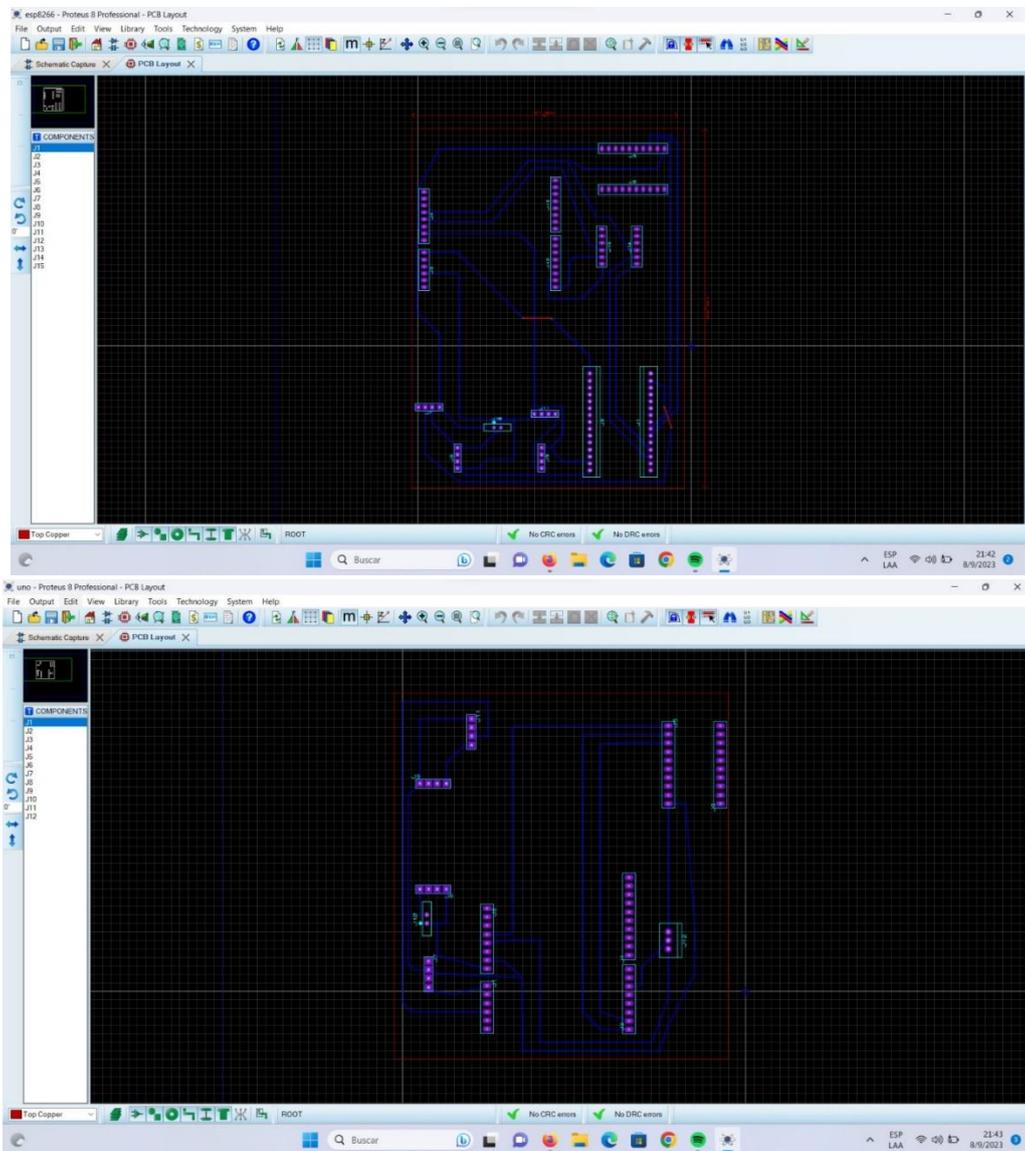


ANEXO 5. IMPLEMENTACIÓN





ANEXO 6. DISEÑO DE PLACAS



ANEXO 7. ENTREVISTAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Entrevista dirigida a agricultores de caña de azúcar de la Parroquia de Telimbela del cantón San José de Chimbo perteneciente a la provincia Bolívar

Tema: Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia Telimbela-Bolívar-Ecuador.

Nombre: Urbes... Dorado... Ángel José Fecha: 03/07/2023

Sector: San Francisco... Chico... Telimbela

Pregunta 1: ¿Ha presentado pérdidas en la producción de su cultivo de caña de azúcar?

Respuesta: Si

Pregunta 2: ¿Su cultivo se ha visto afectado por condiciones ambientales?

Respuesta: Si

Pregunta 3: ¿Sabía usted que factores como la temperatura del ambiente, la acidez del suelo y la humedad del suelo al no estar dentro de ciertos niveles considerados como óptimos afectan directamente al correcto crecimiento de la caña de azúcar?

Respuesta: Si

Pregunta 4: ¿De cuál de los factores mencionados anteriormente usted ya conocía o había escuchado que afecten a los cultivos de caña de azúcar?

Respuesta: Humedad

Pregunta 5: ¿Sabía usted que existen tecnologías capaces de monitorear niveles de humedad del suelo, acidez del suelo y temperatura del ambiente?

Respuesta: Si

Pregunta 6: ¿Considera usted que la implementación de una red de sensores inalámbricos que monitoreen los niveles de humedad del suelo, acidez del suelo y temperatura del ambiente le ayudarían a que su producción de caña de azúcar sea más eficiente?

Respuesta: Si

Pregunta 7: ¿Piensa usted que está en la capacidad económica de invertir en la instalación de un sistema que le permita monitorear factores ambientales y del suelo en sus cultivos a fin de poder tomar acciones en tiempos prudentes y a su vez evitar pérdidas de producción?

Respuesta 8: Si

Pregunta 9: ¿De entre las siguientes cantidades cuanto estaría dispuesto a invertir en un sistema de monitoreo de niveles de humedad, acidez y temperatura para sus cultivos de caña de azúcar?

- a) Entre 1000 a 1500
- b) Entre 1500 a 2000
- c) Mas de 2000

Respuesta 10: Entre... 1000 a 1500

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN CON ESTA ENTREVISTA!



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Entrevista dirigida a agricultores de caña de azúcar de la Parroquia de Telimbela del cantón San José de Chimbo perteneciente a la provincia Bolívar

Tema: Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia Telimbela-Bolívar-Ecuador.

Nombre: José Rodríguez Chata **Fecha:** 04/07/2023

Sector: Telimbela

Pregunta 1: ¿Ha presentado pérdidas en la producción de su cultivo de caña de azúcar?

Respuesta: Si

Pregunta 2: ¿Su cultivo se ha visto afectado por condiciones ambientales?

Respuesta: No

Pregunta 3: ¿Sabía usted que factores como la temperatura del ambiente, la acidez del suelo y la humedad del suelo al no estar dentro de ciertos niveles considerados como óptimos afectan directamente al correcto crecimiento de la caña de azúcar?

Respuesta: Si

Pregunta 4: ¿De cuál de los factores mencionados anteriormente usted ya conocía o había escuchado que afecten a los cultivos de caña de azúcar?

Respuesta: Humedad y Temperatura

Pregunta 5: ¿Sabía usted que existen tecnologías capaces de monitorear niveles de humedad del suelo, acidez del suelo y temperatura del ambiente?

Respuesta: Si, pero en otros países como Colombia

Pregunta 6: ¿Considera usted que la implementación de una red de sensores inalámbricos que monitoreen los niveles de humedad del suelo, acidez del suelo y temperatura del ambiente le ayudarían a que su producción de caña de azúcar sea más eficiente?

Respuesta: Si

Pregunta 7: ¿Piensa usted que está en la capacidad económica de invertir en la instalación de un sistema que le permita monitorear factores ambientales y del suelo en sus cultivos a fin de poder tomar acciones en tiempos prudentes y a su vez evitar pérdidas de producción?

Respuesta 8: Si, tanta en los cultivos de caña como en otro tipo de cultivos

Pregunta 9: ¿De entre las siguientes cantidades cuanto estaría dispuesto a invertir en un sistema de monitoreo de niveles de humedad, acidez y temperatura para sus cultivos de caña de azúcar?

- a) Entre 1000 a 1500
- b) Entre 1500 a 2000
- c) Mas de 2000

Respuesta 10: Entre mil a mil quinientas

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN CON ESTA ENTREVISTA!



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Entrevista dirigida a agricultores de caña de azúcar de la Parroquia de Telimbela del cantón San José de Chimbo perteneciente a la provincia Bolívar

Tema: Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia Telimbela-Bolívar-Ecuador.

Nombre: Nercia Amado Montero Fecha: 03/07/2023

Sector: San Francisco Chisa - Telimbela

Pregunta 1: ¿Ha presentado pérdidas en la producción de su cultivo de caña de azúcar?

Respuesta: Si

Pregunta 2: ¿Su cultivo se ha visto afectado por condiciones ambientales?

Respuesta: No

Pregunta 3: ¿Sabía usted que factores como la temperatura del ambiente, la acidez del suelo y la humedad del suelo al no estar dentro de ciertos niveles considerados como óptimos afectan directamente al correcto crecimiento de la caña de azúcar?

Respuesta: Si sabía de la humedad

Pregunta 4: ¿De cuál de los factores mencionados anteriormente usted ya conocía o había escuchado que afecten a los cultivos de caña de azúcar?

Respuesta: Humedad

Pregunta 5: ¿Sabía usted que existen tecnologías capaces de monitorear niveles de humedad del suelo, acidez del suelo y temperatura del ambiente?

Respuesta: No

Pregunta 6: ¿Considera usted que la implementación de una red de sensores inalámbricos que monitoreen los niveles de humedad del suelo, acidez del suelo y temperatura del ambiente le ayudarían a que su producción de caña de azúcar sea más eficiente?

Respuesta: Si y para otras de mis cultivos

Pregunta 7: ¿Piensa usted que está en la capacidad económica de invertir en la instalación de un sistema que le permita monitorear factores ambientales y del suelo en sus cultivos a fin de poder tomar acciones en tiempos prudentes y a su vez evitar pérdidas de producción?

Respuesta 8: Si

Pregunta 9: ¿De entre las siguientes cantidades cuanto estaría dispuesto a invertir en un sistema de monitoreo de niveles de humedad, acidez y temperatura para sus cultivos de caña de azúcar?

- a) Entre 1000 a 1500
b) Entre 1500 a 2000
c) Mas de 2000

Respuesta 10: Entre mil a mil quinientos

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN CON ESTA ENTREVISTA!



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Entrevista dirigida a agricultores de caña de azúcar de la Parroquia de Telimbela del cantón San José de Chimbo perteneciente a la provincia Bolívar

Tema: Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de sembríos de caña de azúcar en la Parroquia Telimbela-Bolívar-Ecuador.

Nombre: Gilberth Raúl Estrada Carrera Fecha: 03/07/2023

Sector: Telimbela

Pregunta 1: ¿Ha presentado pérdidas en la producción de su cultivo de caña de azúcar?

Respuesta: No

Pregunta 2: ¿Su cultivo se ha visto afectado por condiciones ambientales?

Respuesta: No, en tiempos de sequía se activa el riego

Pregunta 3: ¿Sabía usted que factores como la temperatura del ambiente, la acidez del suelo y la humedad del suelo al no estar dentro de ciertos niveles considerados como óptimos afectan directamente al correcto crecimiento de la caña de azúcar?

Respuesta: Si

Pregunta 4: ¿De cuál de los factores mencionados anteriormente usted ya conocía o había escuchado que afecten a los cultivos de caña de azúcar?

Respuesta: humedad y temperatura

Pregunta 5: ¿Sabía usted que existen tecnologías capaces de monitorear niveles de humedad del suelo, acidez del suelo y temperatura del ambiente?

Respuesta: Si

Pregunta 6: ¿Considera usted que la implementación de una red de sensores inalámbricos que monitoreen los niveles de humedad del suelo, acidez del suelo y temperatura del ambiente le ayudarían a que su producción de caña de azúcar sea más eficiente?

Respuesta: Si

Pregunta 7: ¿Piensa usted que está en la capacidad económica de invertir en la instalación de un sistema que le permita monitorear factores ambientales y del suelo en sus cultivos a fin de poder tomar acciones en tiempos prudentes y a su vez evitar pérdidas de producción?

Respuesta 8: Si

Pregunta 9: ¿De entre las siguientes cantidades cuanto estaría dispuesto a invertir en un sistema de monitoreo de niveles de humedad, acidez y temperatura para sus cultivos de caña de azúcar?

- a) Entre 1000 a 1500
b) Entre 1500 a 2000
c) Mas de 2000

Respuesta 10: Entre 1500 a 2000

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN CON ESTA ENTREVISTA!