



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

**Implementación de un Sistema de Control de Factores Abióticos y
Bióticos para Determinar la Productividad del Cultivo de Papas
Mediante una Red de Sensores.**

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

Autor:

Mora Mera Teresa Alejandra

Tutor:

Mgs. José Luis Jinez Tapia

Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Teresa Alejandra Mora Mera, con cédula de ciudadanía 060452688-9, autora del trabajo de investigación titulado Implementación de un Sistema de Control de Factores Abióticos y Bióticos para Determinar la Productividad del Cultivo de Papas Mediante una Red de Sensores, 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, 07 de noviembre del 2022.



Teresa Alejandra Mora Mera
C.I: 0604526889

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Implementación de un Sistema de Control de Factores Abióticos y Bióticos para Determinar la Productividad del Cultivo de Papas Mediante una Red de Sensores, presentado por Teresa Alejandra Mora Mera, con cédula de identidad número 060452688-9, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 07 de noviembre del 2022

Daniel Antonio Santillán Haro, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



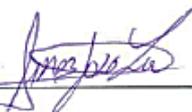
Leonardo Fabián Rentería Bustamante, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Luis Patricio Tello Oquendo, PhD.
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 un Sistema de Control de Factores Abióticos y Bióticos para Determinar la Productividad del Cultivo de Papas Mediante una Red de Sensores, presentado por Teresa Alejandra Mora Mera, con cédula de identidad número 060452688-9, bajo la tutoría de Mg. 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 07 de noviembre del 2022

Presidente del Tribunal de Grado
PhD. Daniel Antonio Santillán Haro



Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Leonardo Rentería Bustamante



Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Luis Patricio Tello Oquendo



CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



CERTIFICACIÓN

Que, **MORA MERA TERESA ALEJANDRA** con CC: **060452688-9**, estudiante de la Carrera **en ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE FACTORES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS PARA DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE PAPAS MEDIANTE UNA RED DE SENSORES**", 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, 15 de noviembre de 2022

Mgs. José Jínez
TUTOR (A)

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño. A ti DIOS que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa. Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo mamita bella Merycita y a mi papá Segundito por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, porque estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida, les agradezco el que estén conmigo a mi lado, los quiero con todo mi corazón y este trabajo que me llevó mucho esfuerzo y dedicación es para ustedes.

A mi tío papá Julito Mera, te doy las gracias por todo el apoyo que me has dado para continuar y seguir con mi camino, gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes, recuerda que te quiero mucho y que eres muy importante para mí. Yo te dedico con todo mi corazón mi tesis.

A mi hermano Mauri gracias por estar conmigo y apoyarme siempre en los momentos difíciles, te quiero mucho. Y a todos mis tíos quisiera nombrarlos a cada uno de ustedes, pero son muchos, pero eso no quiere decir que no me acuerde de cada uno, a todos los quiero mucho por estar siempre conmigo y consentirme tanto, los aprecio demasiado.

A mi abuelito Manuelito Mera gracias por haberme enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio, por esto y más muchas gracias papito Manuel.

Y no me puedo ir sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto. Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero mucho y nunca los olvidaré.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo investigativo lo agradezco principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados por mí, que es el llegar a ser una gran profesional. A mis padres, puesto que ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro amados padres, como una meta más conquistada. Orgullosa de que Dios los haya elegido mis padres y que estén a mi lado en este momento tan importante. Gracias por ser quienes son y por creer en mí.

A mi hermano, a mis tíos, a mis primos, todos tienen derecho a un merecido reconocimiento, pues ellos son quienes han ofrecido su ayuda de todo corazón, para que se concrete con éxito la finalización de tus estudios, ya sea por cualquier clase de apoyo moral, material, económico o didáctico.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a los profesores de la Universidad Nacional de Chimborazo quienes fueron mis principales colaboradores durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración me permitieron el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
Planteamiento del Problema	17
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1 Estado del Arte	19
2.2 Características Generales del Cultivo de Papa	20
2.3 Origen de la Papa	20
2.4 La Papa en el Ecuador	20
2.5 Factores que Influyen en la Producción de Papa	20
2.5.1 Factores Abióticos.....	20
2.5.2 Tipos de Factores Abióticos.....	21
2.5.3 Factores Bióticos.....	21
2.5.4 Tipos de Factores Bióticos.....	21
2.6 Wireless Sensor Networks (WSN)	22
2.7 Elementos WSN	22
2.7.1 Software en WSN.....	23
2.7.2 Estándares	23
2.8 Zigbee	23
2.8.1 Características Zigbee	24
2.8.2 Ventajas.....	24
2.8.3 Redes Zigbee.....	24
2.9 PAN ID	24
2.10 Canal de Operación	25
2.11 Topología del Sistema	25
2.12 Topología Estrella	25
2.13 Topología de Árbol	25
2.14 Topología Malla	25
2.15 Aplicaciones de Red de Sensores Inalámbricos (WSN)	25
METODOLOGÍA	28
3.1 Tipo de Investigación	28
3.2 Técnicas	28
3.3 Instrumentos	29
3.4 Hipótesis	29
3.5 Estudio de los Métodos y Dispositivos de Hardware y Software	29
3.5.1 Tipos de Redes Inalámbricas en el Sector Agrícola.....	29
3.5.2 Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)	29
3.5.3 Red de Sensores Inalámbricos de Área Personal (WPAN).....	30
3.5.4 Hardware Libre	30
3.5.5 Sensor de Humedad y Temperatura	31

3.5.6	Sensor de Temperatura.....	31
3.5.7	Sensor de Humedad y Temperatura de Suelo	31
3.5.8	Sensor de Humedad del Suelo	31
3.5.9	Sensor PH LabSen 553	31
3.5.10	Sensor PH+BNC para Arduino.....	31
3.5	Metodología	31
3.5.11	Selección de dispositivos y diseño del sistema	31
3.5.12	Análisis de requerimientos	32
3.5.13	Esquema General del Sistema	32
3.5.14	Etapas 1: Recolección de Datos	33
3.10.2	Etapas 2: Transmisión y Recepción de Datos.....	33
3.10.3	Etapas 3: Análisis y Control de Datos.....	33
3.5.15	Diseño de Nodo Sensor y Nodo Router Actuador.....	33
3.5.16	Diseño de Nodo Coordinador	34
3.5.17	Selección de Recursos	35
3.5.18	Selección de Detectores de Temperatura.....	35
3.5.19	LM35	37
3.5.20	Selección de Detectores de Humedad Ambiental.....	37
3.5.21	Sensor DHT11	38
3.5.22	Selección de Detectores de Humedad de Tierra.....	39
3.5.23	Sensor FC-28	40
3.5.24	Selección de Módulos Inalámbricos Zigbee.....	40
3.5.25	Módulo XBee S2	42
3.5.26	Selección de Módulos de Procesamiento	42
3.5.27	Arduino UNO	44
3.5.28	Selección de Módulo de Control	44
3.5.29	Módulo SIM900 GSM/GPRS.....	45
3.5.30	Software para Desarrollo	45
3.5.31	Arduino IDE	45
3.5.32	XCTU	45
3.5.33	Esquema de conexión Nodo Router Sensor y Router Actuador.....	46
3.5.34	Consumo de Corriente y Alimentación	47
3.5.35	Esquema de Conexión Nodo Coordinador	49
3.5.36	Consumo Corriente y Alimentación.....	50
3.5.37	Configuración de la Red Interna Tipo Malla.....	51
3.5.38	Configuración del Nodo Coordinador	51
3.5.39	Diagrama de Flujo del Programa Principal	52
3.5.40	Configuración del Nodo Router Sensor y Router Actuador.....	52
3.5.41	Diagrama de flujo en el programa principal.....	53
3.5.42	Funciones que Componen el Programa Principal.....	54
3.5.43	Plataforma en la Nube – THINGSPEAK	55
3.5.44	API.....	55
3.5.45	Canal.....	55
3.5.46	Plugins	55

3.5.47 Claves proporcionadas por la plataforma THINGSPEAK	56
3.5.48 Desarrollo de Aplicaciones Móviles.....	56
3.5.49 THINGSPEAK	57
3.5.50 Plataforma THINGSPEAK para el Proyecto.....	57
CAPÍTULO IV.....	59
4.1 Introducción.....	59
4.2 Comparación con datasheet de sensores (Sensor de Humedad)	59
4.2.1 Análisis:.....	60
4.2.2 Prueba de Hipótesis (Variable Humedad)	60
4.2.3 Hipótesis Nula (<i>H₀</i>)	60
4.2.4 Resultados.....	60
4.2.5 Estimación Curvilínea Variable Humedad	61
4.3 Comparación con datasheet de sensores (Sensor de Temperatura).....	63
4.3.1 Análisis:.....	64
4.3.2 Prueba de Hipótesis (Variable Temperatura)	64
4.3.2.1 Hipótesis Nula (<i>H₀</i>)	64
4.3.4 Resultados.....	64
4.3.5 Estimación Curvilínea Variable Temperatura.....	65
4.4 Evaluación de Funcionamiento de la Red Inalámbrica de Sensores.....	66
4.5 Resultados de la Plataforma THINGSPEAK para el Proyecto.....	68
4.6 Evaluación de Calidad de Producción	69
4.6.1 Dimensiones de la Parcela.....	69
4.6.2 Características del Área de Estudio	69
4.6.3 Tamaño de la Muestra por Probabilidad Proporcional	70
4.6.4 Peso Total por hectárea	70
4.6.5 Rendimiento de Tubérculo por Categoría.....	70
4.6.6 Número de Tubérculos por Planta	71
4.6.7 Peso de Tubérculos por Planta	71
4.6.8 Rendimiento	71
4.6.9 Resultados	71
CAPÍTULO V	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1 Conclusiones.....	74
5.2 Recomendaciones	75
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS.....	79
Anexo 1. Esquemas de conexión Nodo Router Sensor, Actuador y Coordinador.....	79
Anexo 2. Implementación del sistema de control mediante una red de sensores.....	80
Anexo 3. Funcionamiento de la red inalámbrica de sensores	81
Anexo 4. Funcionamiento y desarrollo de aplicaciones móviles en THINGSPEAK. ..	81
Anexo 5. Planimetría del lugar donde se realizó lo estudios.	82
Anexo 6. Implementación del sistema de control para cultivo en Chazo	83
Anexo 7. Programación.....	89
Anexo 8. Rendimiento de Tubérculo por Categoría	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN).....	29
Tabla 2. Ventajas y Desventajas.....	30
Tabla 3. Sensores.....	36
Tabla 4. Sensores de Temperatura.....	36
Tabla 5. Sensor de temperatura LM35	37
Tabla 6. Sensores de temperatura y humedad.	37
Tabla 7. Datos de los sensores de temperatura y humedad	38
Tabla 8. Sensores de humedad terrestres.....	39
Tabla 9. Características de los sensores de humedad terrestres.....	39
Tabla 10. Características Zigbee.....	41
Tabla 11. Características de Arduinos.....	43
Tabla 12. Características de la Shield Gsm	44
Tabla 13. Consumo de energía de los elementos.....	48
Tabla 14. Consumo de energía en Router Actuador.....	48
Tabla 15. Muestra de conexión del módulo SD	49
Tabla 16. Conexión de módulo GSM.....	49
Tabla 17. Consumo de energía aproximado del nodo coordinador	50
Tabla 18. Red ZigBee.....	51
Tabla 19. Datos de trama.....	54
Tabla 20. Medición de sensor de humedad	59
Tabla 21. Resumen del procesamiento de los casos.....	59
Tabla 22. Estadísticos de grupo.....	60
Tabla 23. Prueba de muestras independientes	61
Tabla 24. Descripción del modelo.....	61
Tabla 25. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros.....	62
Tabla 26. Tabla de mediciones de Temperatura.....	63
Tabla 27. Resumen del procesamiento de los casos.....	63
Tabla 28. Estadísticas de grupo.....	64
Tabla 29. Prueba de muestras independientes	65
Tabla 30. Descripción del modelo.....	65
Tabla 31. Resumen de modelo y estimaciones de parámetro.....	65
Tabla 32. Clasificación del peso de cada bulbo.....	70
Tabla 33. Peso de cosecha total por parcela estudio vs muestra	71
Tabla 34. Promedio total de tubérculos por parcela	71
Tabla 35. Clasificación del rendimiento de tubérculos por parcela %	72
Tabla 36. Costo de producción de papa por hectárea	102

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Cultivos de productos	16
Imagen 2. Factores Bióticos	20
Imagen 3. Monitorización de temperatura.....	26
Imagen 4. Monitorización de temperatura y humedad	27
Imagen 5. Monitorización del clima.....	27
Imagen 6. Esquema General de Procesos del Sistema	32
Imagen 7. Diagrama de bloques de nodos: router sensor y router actuador.....	34
Imagen 8. Diagrama de nodo coordinador	35
Imagen 9. Datos obtenidos por el sensor DHT11	38
Imagen 10. Módulo XBee S2	42
Imagen 11. XBee Xplorer.....	42
Imagen 12. Hardware de Desarrollo.....	44
Imagen 13. Módulo GSM.....	45
Imagen 14. Puente JP.....	45
Imagen 15. Nodo Router.....	46
Imagen 16. Nodo Router.....	47
Imagen 17. Nodo Coordinador	50
Imagen 18. Flujograma Principal	53
Imagen 19. Estructura de datos.....	55
Imagen 20. Gráfico de Campo en la plataforma THINGSPEAK.....	56
Imagen 21. Canal creado en la plataforma THINGSPEAK	57
Imagen 22. Campos por utilizar en el canal “MORITA”	58
Imagen 23. ID y APIKEY para THINGSPEAK	58
Imagen 24. Las gráficas en THINGSPEAK de los sensores de humedad, temperatura. ...	58
Imagen 25. Gráfico de caja - humedad.....	60
Imagen 26. Correlación de los modelos lineal y cuadrático.....	62
Imagen 27. Gráfico de caja -temperatura	64
Imagen 28. Correlación de los modelos lineal y cuadrático.....	66
Imagen 29. XCTU potencia de transmisión de XBee.....	67
Imagen 30. Velocidad de transmisión	67
Imagen 31. Distancias de transmisión	68
Imagen 32. Funcionamiento de los Sensores en la plataforma THINGSPEAK.....	68
Imagen 33. Disposición y dimensiones establecidas en el área de estudio.	69
Imagen 34. Área de estudio	70
Imagen 35. Porcentaje de cosecha, estudio vs comparación	71
Imagen 36. Número de tubérculos en la parcela.....	72
Imagen 37. Clasificación del producto como extra	73
Imagen 38. clasificación del producto como extra	73
Imagen 39. Clasificación del producto tipo selecta	73
Imagen 54. Nodo Router.....	79
Imagen 55. Nodo Router.....	79
Imagen 56. Nodo Coordinador	80
Imagen 57. Elementos utilizados en la implementación	80

Imagen 58. Potencia de transmisión de XBee	81
Imagen 59. Velocidad y Distancias de transmisión.....	81
Imagen 60. Gráficos de Campo del proyecto de investigación en THINGSPEAK	81
Imagen 61. Funcionamiento de los Sensores en la aplicación móvil en THINGSPEAK. .	82
Imagen 62. Parroquia de San José de Chazo	82
Imagen 40. Clasificación del producto tipo comercial	96
Imagen 41. Clasificación del producto tipo doméstica.....	96
Imagen 42. Clasificación del producto tipo baby	96
Imagen 45. Resultado de la primera gráfica del estudio y análisis de la encuesta.	98
Imagen 46. Gráfica del tipo de producción que realizan los encuestados.	99
Imagen 47. Gráfica de si han presentado dificultad en la producción de su cultivo	99
Imagen 48. Gráfica sobre las afecciones que perjudican a los cultivos.....	99
Imagen 49. Gráfica sobre si hay pérdidas en la producción	100
Imagen 50. Gráfica sobre las condiciones ambientales óptimas para su producción	100
Imagen 51. Gráfica sobre si pueden controlar y evitar las plagas en el cultivo.	100
Imagen 52. Gráfica sobre si las personas encuestadas conocían sobre redes de sensores	101
Imagen 53. Gráfica del resultado de si implementarían estas redes de sensores.....	101

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se implementó una red de sensores inalámbricos, en un sistema telemétrico para detectar los cambios de temperatura y humedad tanto ambiental y como del suelo de cultivo. Se utilizó el Proceso Unificado Racional (RUP) como metodología para el análisis, diseño, implementación y documentación del proyecto de investigación. El sistema evalúa los rangos óptimos de los factores medio ambientales para la producción óptima del cultivo de papas de manera remota y controla los rangos permisibles de los cultivos.

La red se comprende de dos nodos, uno de los cuales tiene la función de actuador en el cual está integrado un sensor LM-35, y el otro un nodo coordinador que se encarga de recibir, visualizar almacenar y etiquetar la información suministrada por los nodos o diferentes nodos que se puedan sumar a esta red de sensores. Esta red se comunica mediante la utilización de módulos Xbee S2 a una distancia de 40 m en interiores y vinculados a módulos Arduino UNO, los cuales forman parte de la transmisión y procesamiento de la red interna. Para la red externa se utiliza THINGSPEAK la cual es una plataforma que nos permite almacenar y visualizar los datos de trama perteneciente a Matlab.

Cabe mencionar que los cultivos de papa son afectados por factores bióticos y abióticos que reducen su producción y calidad, por lo que al implementar este sistema de control para determinar la productividad del cultivo de papas mediante una red de sensores reduciría en gran cantidad estos riesgos, aumentando así considerablemente la calidad de producción.

De las pruebas ejecutadas en el estudio realizado a la productividad de papas se puede observar un comportamiento favorable de los datos de los sensores, los cuales tienen una dispersión igual al que los ideales dando, así como resultado una productividad de papas bastante fiable.

Palabras claves: Tecnología y Ciencias de la Ingeniería, Red Inalámbrica de Sensores, Protocolo Zigbee, Condiciones Ambientales, THINGSPEAK.

ABSTRACT

In this degree work, a wireless sensor network was implemented in a telemetric system to detect changes in temperature and humidity both in the environment and in the crop soil. The Rational Unified Process (RUP) was used as the methodology for the analysis, design, implementation, and documentation of the research project. The system evaluates the optimal ranges of environmental factors for optimal potato crop production remotely and monitors the permissible ranges of the crops.

The network consists of two nodes, one of which has the function of actuator in which is integrated a LM-35 sensor, and the other a coordinator node that is responsible for receiving, displaying, storing, and labeling the information provided by the nodes or different nodes that can be added to this sensor network. This network communicates using Xbee S2 modules at a distance of 40m indoors and linked to Arduino UNO modules, which are part of the transmission and processing of the internal network. For the external network, THINGSPEAK is used, which is a platform that allows us to store and visualize the raster data belonging to Matlab.

It is worth mentioning that potato crops are affected by biotic and abiotic factors that reduce their production and quality, so implementing this control system to determine the productivity of the potato crop through a sensor network would reduce these risks, thus considerably increasing the quality of production.

From the tests conducted in the study of potato productivity, it can be observed a favorable behavior of the sensor data, which have a dispersion equal to that of the ideal ones, giving as a result a quite reliable potato productivity.

Key words: Technology and Engineering Sciences, Wireless Sensor Network, Zigbee Protocol, Environmental Conditions, THINGSPEAK.

Reviewed by:



Firmado electrónicamente por:
**ANDREA
CRISTINA
RIVERA PUGLLA**

Lic. Andrea Rivera
ENGLISH PROFESSOR
C.C 0604464008

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

A menudo se piensa que la papa es un cultivo de las naciones industrializadas y de poca importancia en zonas de desarrollo. No obstante, en la actualidad los países en desarrollo producen un tercio de las papas a nivel mundial. En términos económicos, las papas son su cuarto cultivo en orden de importancia después del arroz, maíz y trigo. A partir de 1950, los beneficios de la papa se han duplicado y la productividad se ha triplicado [1].

Imagen 1. Cultivos de productos

	Materia Seca (millones de t)	Energía comestible (billones de kcal)	Proteína comestible (millones de t)	Valor de la producción (miles de mi- llones US\$)
Arroz en cáscara	355	982	18.1	68.7
Trigo	157	454	18.1	26.6
Maíz	134	476	12.2	18.5
Papas	17	51	1.4	11.7
Camotes	31	99	1.5	9.5
Yuca	51	109	0.5	8.9
Soya	28	127	10.8	6.5
Sorgo	42	149	4.9	5.8
Maní, en cascara	17	74	3.4	5.3
Plátanos	13	34	0.3	4.2

Fuente: [1]

La mayor variedad genética de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivada se halla en las tierras altas de los Andes de América del Sur. La primera conocida fue escrita por Pedro Cieza de León en 1538. Cieza localizó tubérculos que los indígenas los nombraron como “papas”, primero en la parte más alta del valle del Cuzco, Perú y seguidamente en Quito, Ecuador [2]. En el Ecuador, de acuerdo con datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en el año 2019 la superficie cultivada fue de 21 107 hectáreas (ha) con una producción de 517 655 toneladas métricas (t) y un rendimiento de 23.42 t/ha. Aproximadamente el 81% de la producción se comercializa y el resto es utilizado por la industria de procesamiento.

En 1994, el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ejecutó una recopilación de papas cultivadas en el Ecuador, y halló un promedio de 400 diferentes tipos como la andígena y phureja. No obstante, en el país se siembran 30 cultivares, como la Gabriela y Superchola éstas representan un poco más de la mitad del área que será sembrada [3].

Chimborazo posee la mayor área dedicada al cultivo de papas a nivel nacional. A pesar de que los rendimientos son congruentemente bajos (11 t/ha). El clima es muy diverso. Los vientos calurosos de la zona amazónica perturban a la Cordillera Oriental, puliendo el clima, concretamente en el área ubicada en el Cantón Guano. Como efecto de fuertes variaciones de altitud (entre 2.200 a 3.600 m.s.n.m.), temperaturas medias entre 6° y 15°C, topografía y lluvias entre 250 a 2.000 mm anuales, la provincia muestra una extensa variedad de zonas ecológicas [3].

Hay tres zonas fabricantes de papa: nororiente, occidente y cordillera central. La región occidental alcanza los cantones Riobamba y Colta, en el cual la siembra sucede entre octubre y diciembre. La parte nororiental alcanza el cantón Chambo, en donde se siembra a partir de

mayo a junio. En la cordillera central alcanza el cantón Guano, donde se puede sembrar todo el año [3].

Cabe mencionar que los cultivos de papa están afectados por factores bióticos y abióticos que reducen su productividad y calidad. Las principales restrictivas bióticas forman los insectos plaga y enfermedades. Centralmente de los insectos plagas, gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) y complejo de las polillas de papa (Lep: Gelechiidae), simbolizan actualmente las plagas más peligrosas y dañinas para el cultivo de la papa en Ecuador.

En este sentido, los papicultores aplican correctivos de manera práctica sin estar al tanto del valor real de los factores bióticos y abióticos, con el objetivo de observar los factores ambientales abióticos que perturban a los cultivos de papa en este trabajo de investigación se diseña e implementa una red de sensores inalámbricos el cual me va a permitir medir dichos factores de una forma automatizada. [4]

Planteamiento del Problema

La papa (*Solanum tuberosum*) es el cuarto cultivo alimenticio más significativo del mundo. Hoy en día la papa se cultiva en 17×10^6 ha. en todo el mundo y la producción mundial de papa simboliza 370×10^6 ton. y más de 1500×10^6 personas comen papas [5].

En Ecuador, la producción de papa a nivel nacional en el año 2020 fue de 408313 ton., con una superficie cosechada de 24882 ha. y un rendimiento promedio de 14 t ha^{-1} (INEC, 2020). En producción la provincia de Carchi es la de mayor participación con un 46% de la producción (INEC, 2020). La papa se siembra en la región sierra, siendo las provincias de Carchi, Chimborazo y Tungurahua las provincias con mayor superficie cosechada la cual representa el 56.7% del total de la superficie. La papa es afectada por factores bióticos y abióticos que reducen la producción y afectan la calidad del producto [5].

Las principales limitantes de los factores bióticos son el complejo de la PMP causada por fitoplasmias y CaLso, dadas por insectos vectores como *Bactericera cockerelli* y semilla enferma y el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) (Castillo et al., 2019; Castillo et al., 2018; Caicedo et al., 2020; Caicedo et al., 2015; Delgado, 2019). Otra limitante son los patógenos de suelo como el nematodo del quiste (*Globodera pallida*), *Rhizoctonia* (*Rhizoctonia solani*), pudriciones (*Pectobacterium* sp, *Dickeya* sp) y la sarna (*Spongospora subterranea*) las cuales constituyen uno de los problemas más importantes que pueden producir pérdidas en producción, entre el 30 al 100% [5].

Dentro de los factores abióticos por el cambio climático, las bajas temperaturas, el déficit hídrico y el exceso de humedad son uno de los problemas más graves que afectan la producción. Además, en algunos períodos del año los precios de mercadeo del tubérculo no cubren los costos de producción del agricultor, por lo que es necesario e importante contar con tecnologías que le den valor agregado y reduzcan sus pérdidas poscosecha. Para finiquitar, es fundamental y necesario que todo el conocimiento/tecnología generada se difunda a los diferentes actores de la cadena de valor [5].

Actualmente en nuestro país, la agroindustria trabaja bajo parámetros manuales, por ejemplo, aún se realizan procesos de recolección manual, se utiliza mano de obra campesina para vigilar cosechas, por lo cual de acuerdo con los avances digitales y tecnológicos hay que empezar a considerar las redes de sensores inalámbricos, como una oportunidad para el sector agrícola de encontrar soluciones al monitoreo y supervisión de sus cultivos.

Parte de las limitaciones de implementar acciones vinculadas a la red de sensores inalámbricos, tiene que ver justamente con el bajo desarrollo tecnológico del país y en sí de América Latina en su conjunto, por lo cual frente a un panorama futuro es preciso plantearse una pregunta desde una postura crítica ¿Cuál sería la adaptación y el posible impacto de la implementación de un sistema de monitorización mediante redes de sensores inalámbricos en la agroindustria ecuatoriana?

Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema de control de factores abióticos y bióticos para el cultivo de papas mediante redes de sensores inalámbricos en el cantón Guano, que permita su óptima producción.

Objetivos Específicos

- Recabar información sobre factores abióticos y bióticos en el cultivo de papas, mediante la revisión de documentos de investigación válidos como artículos científicos, revistas y libros que sustenten la base teórica del proyecto
- Identificar y estudiar los métodos y dispositivos de hardware y software para la implementación del sistema de monitorización de los factores.
- Implementar un sistema con sensores inalámbricos para controlar temperatura, humedad, clima, plagas, de un cultivo de papas en el cantón Guano.
- Determinar la productividad del cultivo de papas en el cantón Guano.
- Desarrollar una aplicación para dispositivos móviles que permita consultar el desarrollo del cultivo de papas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del Arte

En torno a la problemática que en la presente investigación aborda, es bastante común encontrarse con estudios que acojan la importancia de hacer el intento frente al control de factores bióticos y abióticos en los cultivos. Tal como lo expresa García et al. (2017), realizan un estudio sobre la influencia de los factores bióticos, abióticos y agronómicos frente a la infesta de mosca pinta, que se conoce como una plaga conocida dentro del cultivo de caña de azúcar.

Este estudio busca desarrollar un registro sobre las principales consecuencias de esta plaga dentro de los cultivos tomando en consideración la repercusión que pueden tener las altas temperaturas, la maleza, las precipitaciones, aplicación de pesticidas, entre otros. A partir de este documento investigativo nos permitiremos determinar ciertos efectos derivados de la influencia de los factores bióticos y abióticos dentro de un cultivo, a través de la realización de un registro de los resultados, ocasionados frente a las plagas y su incidencia en los cultivos.

El mecanismo que se emplea para la recolección de datos se almacena en una base MySQL la cual se logra enviar a través de una Red de Área Local (LAN) que evidentemente deberá tener acceso a internet para que este funcione [20].

En lo concerniente a las investigaciones realizadas dentro del campo de las teorías de redes de sensores inalámbricos en el país, se encuentra el estudio titulado “Desarrollo de un prototipo de parqueadero inteligente empleando redes de sensores inalámbricos” (Márquez, 2015) donde el autor expone el diseño de un prototipo de parqueadero inteligente sirviéndose de esta tecnología. La ejecución del proyecto fue llevada a cabo en las plazas de parqueo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mediante la utilización de sensores recolectores de información que luego fue transmitida a los usuarios en sus dispositivos móviles.

Otro estudio similar es el llevado a cabo por Meneses (2015), titulado “Implementación de un sistema de monitorización de Co₂ mediante redes de sensores inalámbricos en el campus Universitario de la ESPE”. En este estudio, se expusieron las conclusiones que arrojó la implementación de tecnología de sensores inalámbricos ZigBee en los parqueaderos de los Laboratorios de Electrónica con el fin de medir los niveles de emisión de CO₂. Entre estas conclusiones se encontró que la calidad del aire en esa locación fue aceptable y en ese sentido no posee efectos perjudiciales sobre la salud de las personas.

Es por eso por lo que cada una de estas investigaciones previas muestran los elementos que deben tenerse en consideración dentro del diseño de esta propuesta. Al plantear la implementación de sensores inalámbricos, se debe tener en consideración el alcance, los actores eternos, el mantenimiento de los sensores, las redes bajo las cuales serán conectados y la vigilancia directa de los cultivos, entre otros. Pero si bien es cierto, estas estrategias tecnológicas pueden favorecer a la agroindustria el factor humano es irremplazable y no por ello deberá alejarse de la intervención directa dentro de la producción de cualquier producto dentro de la actividad agroindustrial [21].

2.2 Características Generales del Cultivo de Papa

La caracterización es significativa ya que esta actividad, no solo se identifica a las conformidades a base de su comportamiento y sus características frente al ambiente, se puede encontrar un aumento o un uso viable del material disponible [6].

Según Jaramillo y Baena (2000), indican que la caracterización se ejecuta en una población grande de la accesión y con una lista de descriptores y los instrumentos para registrarlos [6]. Se puede llegar a identificar a los individuos en una forma que permite encontrar las semejanzas y diferencias entre las colecciones dentro de una especie [6].

2.3 Origen de la Papa

Según Huamán, (1997) la papa (*Solanum tuberosum* L.) fue domesticada por los agricultores andinos y fue cultivada desde hace más de 7000 años. Su centro de origen estaría ubicado en los Andes localizados entre el centro Bolivia y del Perú. Al transcurrir el tiempo, el área de cultivo se extendió a muchos países en América Latina. Actualmente aún existen cultivares de papas nativas en México, Guatemala, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y Chile, este tubérculo fue incrustado a Europa después del descubrimiento de América [7].

2.4 La Papa en el Ecuador

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), en coordinación con el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), gobiernos autónomos descentralizados, sector privado y gastronómico, se proponen incentivar la producción, comercialización y consumo de papa en el país. La cadena productiva de la papa se ha extendido a tal punto que cerca de 80 mil agricultores se dedican a su cultivo y comercialización. Chehab agregó que “hay una intervención mayor de un aproximado de 250 mil personas vinculadas a la papa como tal” [8].

2.5 Factores que Influyen en la Producción de Papa

2.5.1 Factores Abióticos

Los factores abióticos son todos aquellos elementos de naturaleza física o química que intervienen en la caracterización de un biotopo o ecosistema determinado. Se distinguen de los factores bióticos en que no tienen que ver con la vida o con los seres vivos, sino con factores inanimados y ambientales, como pueden ser el clima, el agua, la luz, la temperatura o la naturaleza de los suelos [9].

Imagen 2. Factores Bióticos



Fuente: [9]

2.5.2 Tipos de Factores Abióticos

Existen diversos tipos de factores abióticos de los cuales se hace referencia a los que afectan directamente a los cultivos de papa:

- **Temperatura**

Se trata de una planta de clima templado-frío, siendo las temperaturas más favorables para su cultivo las que están en torno a 13 y 18°C. Al efectuar la plantación la temperatura del suelo debe ser superior a los 7°C, con unas temperaturas nocturnas relativamente frescas. Si la temperatura es demasiado elevada afecta a la formación de los tubérculos y favorece el desarrollo de plagas y enfermedades [10].

- **Heladas**

Es un cultivo bastante sensible a las heladas tardías, ya que produce un retraso y disminución de la producción. Si la temperatura es de 0° C la planta se hiela, acaba muriendo, aunque puede llegar a rebrotar. Los tubérculos sufren el riesgo de helarse en el momento en que las temperaturas sean inferiores a -2°C [10].

- **Humedad**

La humedad relativa moderada es un factor muy importante para el éxito del cultivo. La humedad excesiva en el momento de la germinación del tubérculo y en el periodo desde la aparición de las flores hasta a la maduración del tubérculo resulta nociva [10].

- **Suelo**

Es una planta poco exigente a las condiciones edáficas, sólo le afectan los terrenos compactados y pedregosos, ya que los órganos subterráneos no pueden desarrollarse libremente al encontrar un obstáculo mecánico en el suelo [10].

- **Clima**

La papa está adecuado a climas fríos y templados crece en temperaturas entre 12-24 °C. En lugares cálidos es más significativo manejar bien factores de variedades adaptada, fertilización y riego adecuados. Los suelos ideales son los francos y franco arenosos, ricos en materia orgánica y con un pH de 4.5 - 7.5. El impacto económico en la rentabilidad del cultivo de papa en los factores abióticos es de un 10% [11].

2.5.3 Factores Bióticos

Los factores bióticos son todos los que poseen vida, que están contemplados en alguno de los reinos de la vida y éstas apuntan a la reproducción y a la supervivencia de su especie. Es decir, los factores bióticos son todos los seres vivos que forman parte de un ecosistema y todas las interacciones que se producen entre ellos [12].

2.5.4 Tipos de Factores Bióticos

Existen distintos tipos de factores bióticos que afectan los cultivos de papa de los cuales se detallan los siguientes:

- **Plagas**

Polilla de la patata (*Phtorimaea operculella*).

Es un Lepidóptero de 7-9 mm de longitud que inicia su ciclo realizando la oviposición sobre los montones de patatas recién recolectados. Las larvas realizan galerías en el interior de los tubérculos, afectando de forma negativa a la calidad de los mismos [11].

Gusano de alambre (*Agriotes sp.*).

Miden alrededor de 20 mm de longitud y poseen una cutícula dura que les proporciona cierta rigidez. El gusano inverna en las capas profundas del suelo y en primavera llega a la zona radicular. Los mayores daños los realiza sobre patatas de media estación y tardías, ocasionando la depreciación de la cosecha [11].

• Enfermedades

Mildiu o tizón tardío (*Phytophthora infestans*).

Se trata de la enfermedad más importante que afecta al cultivo de la patata y es la que produce mayores pérdidas económicas en todo el mundo. La infección se produce al descender las temperaturas y al aumentar la humedad [11].

Viruela de la patata (*Rhizoctonia solani*).

Esta enfermedad tiene una amplia distribución geográfica, pues se localiza en cualquier zona donde se cultiven patatas. Los daños más graves se producen en primavera, después de la siembra [11].

Sarna común (*Streptomyces scabies*)

Esta enfermedad bacteriana afecta a la calidad comercial de la cosecha, siendo una gran amenaza en las zonas de cultivo, pues no existen métodos de lucha realmente eficaces para erradicarla [11].

Virus del enrollado de la patata (PLRV).

Es una de las enfermedades más importantes ya que se extiende a nivel mundial por todas las zonas productoras, especialmente en Europa. Este virus puede ser transmitido por tubérculos infectados y por pulgones [11].

2.6 Wireless Sensor Networks (WSN)

El origen de estas redes de sensores WSN constituyen un gran avance importante para el desarrollo de los diferentes sistemas telemétricos y se las define como un conjunto de dispositivos los cuales generalmente son sensores autónomos distribuidos geográficamente capaces de medir magnitudes físicas como presión, temperatura, luz, humedad entre otras, en un ambiente determinado. Están conformadas con sus elementos de red que pueden ser unos pocos hasta cientos e incluso miles de sensores que los llamaremos nodo sensor. Estos nodos están conformados generalmente de: un microcontrolador, un circuito electrónico para interactuar con el sensor, un módulo transceptor de radio con su antena interna y una fuente de energía, sus características particulares son:

- Aplicaciones en diversos campos (seguridad, vigilancia, medición y detección de contaminación ambiental y control de procesos industriales)
- Coste y facilidad de instalación
- Redes desatendidas
- Cobertura de la red

2.7 Elementos WSN

Sensor: Estos son dispositivos electrónicos capaces de tomar del medio información de las diferentes condiciones ambientales a medir y transfórmalas en señales eléctricas.

Nodo Sensor: Estos dispositivos proveen de un procesamiento y comulación a los sensores tomando la información de los diferentes sensores por sus puestos de datos y transmitiendo dicha información a la estación base.

Gateway: Permite tener una intercomunicación entre la WSN y una red TCP/IP.

Estación Base: Éste está formado por un colector de datos basado en un ordenador común o sistema embebido.

2.7.1 Software en WSN

En este tipo de redes de debe tener en cuenta un parámetro muy importante a considerar al tener que insertar los diferentes nodos sensores en la res WSN es la energía, ya que este recurso es el que determina el tiempo de vida de la misma red, por todo esto existen diferentes algoritmos y protocolos que deben de cumplir.

Maximización del Tiempo de Vida: Seleccionar el módulo más óptimo y configurarlo para que esté presente un bajo consumo de potencia.

Robustez y Tolerancia a Fallos: Utilizar una topología y protocolos de enrutamiento adecuado para reducir al mínimo los desperfectos.

Autoconfiguración: Es la capacidad que poseen los dispositivos para estar en convergencia con o sin fallos.

2.7.2 Estándares

Los estándares más utilizados en comunicaciones WSN son:

ISA 100: Este estándar de red fue desarrollado por la sociedad internacional de automatización ISA este se formó en el 2005 para establecer las diferentes normas y la información relacionada con la que se definen los procedimientos para la implementación de sistemas inalámbricos en el entorno de automatización y control.

ZIGBEE: Está basada en el estándar IEEE 802.15.4 para diversos conjuntos de protocolos de comunicación de alto nivel los cuales son más utilizados para crear radios digitales pequeñas y de bajo consumo.

IEEE 1451: Se le define como al conjunto de interfaces de comunicación las cuales permiten conectar transductores inteligentes a sistemas basados en controladores basados en microprocesadores, instrumentos y redes, este estándar proporciona un conjunto de protocolos para sistemas tanto inalámbricos como cableados.

IEEE 802.11: Es el estándar que define las diferentes características de las redes de área local inalámbrica WLAN siendo la tecnología principal Bluetooth.

2.8 Zigbee

Es un conjunto de protocolos para comunicarse de forma inalámbrica y de bajo consumo, el costo y tasa de datos están basados en el protocolo IEEE 802.15.4 para la aplicación en las diferentes redes inalámbricas de área personal WPAN permitiendo que se genere la comunicación entre miles de pequeños sensores los cual permite un amplio campo en cuanto a la utilización de aplicaciones tanto de monitoreo y control industrial, domótica, seguridad industrial y pública, automatización de procesos entre otras.

Esta tecnología trabaja en la banda ISM (Industrial, Científica and Medical, por sus siglas en inglés) a una frecuencia de 2.4GHz por lo que esta dirigida a las aplicaciones de radio frecuencia de baja transferencia de información y una considerable duración de energía y una gestión óptima en cuanto a la red. En zigbee se diferencian tres dispositivos:

Dispositivo Final Zigbee (ZED): Este no realiza ninguna tarea de enrutamiento, pero posee diferentes características las cuales le permiten comunicarse con los diferentes nodos padres (coordinador o router) de esta manera y debido a los requerimientos mínimos de memoria este puede estar en modo standby atenuando así la vida media de la energía.

Router Zigbee (ZR): Este nodo permite realizar una interconexión entre los diferentes dispositivos establecidos en la topología de red mediante direccionamiento.

Coordinador Zigbee (ZC): Es el dispositivo central de la red es el que administra y controla el enrutamiento que se realiza en ella, además está en la capacidad de almacenar la información de la red y se le puede generar una conexión hacia otras redes.

2.8.1 Características Zigbee

ZigBee posee varias características las cuales son:

- Su consumo es bajo debido a su ciclo de trabajo (1%) con respecto a otras tecnologías por ende están en la línea de lo ecológico.
- El costo de los dispositivos es menor al igual que su mantenimiento e instalación.
- Puede poseer varios nodos ya que puede manejar 65536 dispositivos en una sola red.
- Posee doble capa física en las frecuencias de (2.4 GHz y 868/915 MHz).
- Utiliza CSMA-CA para acceder al canal.
- Se puede implementar varias topologías en la red como estrella, árbol y malla.
- Trabaja en un rango de temperatura industrial desde -40 a 85 °C.
- Posee un direccionamiento de 64 bits y su retardo de latencia es de menos de 15 ms.

2.8.2 Ventajas

- Es una tecnología idónea para transmitir punto a punto o punto multipunto.
- Está basada en una banda libre ISM de 2.4 GHz para la transmisión inalámbrica.
- Está diseñada para trabajar en redes que poseen menor tráfico de datos.

2.8.3 Redes Zigbee

Para diferenciar las redes Zigbee se debe de asignar un PAN ID (Identificador de Red de Área Personal) al coordinador y un canal para iniciar el sistema, después que un dispositivo final o nodo sensor se una a un coordinador o router, esta debe de ser capaz de recibir y enviar datos RF a través de ellos.

Este elemento le permite unirse a la red y se convierte en "Nodo Padre" de éste; como los dispositivos finales tienen la capacidad de operar en nodo dormido "sleep mode" el nodo padre debe de tener la capacidad de almacenar en un buffer los paquetes de datos entrantes destinados al nodo sensor hasta que el mismo se active y pueda recibir sus datos.

2.9 PAN ID

Cada red zigbee se define con un ID PAN este es un identificador en el cual todos los dispositivos de red deben de estar identificados con el mismo. zigbee soporta PAN ID de 16 a 64 bits. Estos identificadores se usan para definir de forma única la red. El identificador que posee 16 bits se usa como campo de direccionamiento de capa MAC en todas las transmisiones de datos RF entre todos los dispositivos conectados a la red. Sin embargo, debido al limitado espacio de direccionamiento.

Los dispositivos finales y routers se configuran típicamente para unirse a la red con cualquier PAN ID de 16 bits siempre y cuando el pan ID de 64 bits tenga validez, por lo general los coordinadores normalmente seleccionan un identificador de 16 bits aleatorio para su red.

En resumen, dispositivos finales y routers de Zigbee deben configurarse con un identificador de 64 bits de la red a la que desean unirse. Generalmente adquieren un identificador de 16 bits cuando se unen a una red.

2.10 Canal de Operación

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.

2.11 Topología del Sistema

Zigbee se diseñó como una decisión que permita generar redes y trabar dispositivos remotos. Es claro que la elección de la topología dependerá de los requisitos funcionales que el sistema posee, estas características definidas a continuación expresan una habilidad de influencia del mismo:

- Se debe registrar todos los dispositivos unidos a la red;
- Se debe generar información específica por cada nodo de red;
- Se debe de crear una red inalámbrica en la cual todos los dispositivos conectados aseguren la comunicación entre los mismos.

Existen 3 topologías acertadamente definidas en las WSN's y en apoyo a los requisitos funcionales presentados se elegirá la topología adecuada la cual se adapte a nuestro sistema.

2.12 Topología Estrella

La comunicación en este tipo de topología es centralizada ya que posee un único nodo coordinador, y los demás dispositivos o nodos conectados que quieran comunicarse entre sí, primero deberán enviar la información al nodo coordinador y este será quien establezca la conexión de comunicación con el dispositivo correspondiente.

2.13 Topología de Árbol

En esta topología la red inicial la establece el coordinador, los routers se encargan de definir las ramas de la red y de transmitir los paquetes de información, por último, los dispositivos finales serían las hojas del árbol quienes sensan o toman las muestras de información para ser enviadas a los routers.

2.14 Topología Malla

Esta tiene como característica que existe comunicación entre todos los dispositivos los cuales están conformando la red. Los múltiples caminos por los cuales puede ser enviada la información ofrecen un óptimo nivel de confiabilidad y rendimiento en el enrutamiento de paquetes en la red, es decir, al ser los dispositivos los cuales crean la red estos definen la ruta óptima para el transporte de la información.

Esta topología ha sido seleccionada ya que al ser en un ambiente extenso y con el uso de múltiples sensores, se necesita poseer un nodo base el cual cumpla la función de router y entre todos los existentes debe de existir una comunicación efectiva para garantizar una alta estabilidad de red. Al existir menos conexiones directas con este diseño el coordinador aumenta el desempeño del sistema al reducir la cantidad de información a procesar.

2.15 Aplicaciones de Red de Sensores Inalámbricos (WSN)

2.15.1 Origen

Las Redes de Sensores Inalámbricos se han vuelto realmente populares a lo largo de los últimos años debido a que permiten controlar y monitorear diferentes entornos sin importar la condición en la que se encuentren. Actualmente, son utilizados para un sinnúmero de aplicaciones asociadas a otros sectores como la agricultura, medicina o biología. Su uso permite desarrollar nuevas soluciones a problemáticas, además de mejorar las condiciones de vida de las personas.

Las Redes de Sensores Inalámbricos surgen en 1998 a través del impulso investigativo de una agencia militar estadounidense denominada DARPA (Defense Advance Research Project Agency) dirigido por el Dr. Kristofer Pister de la Universidad de Berkeley. “El enfoque de esta nueva idea, era reducir de manera exponencial los problemas que existían con las Redes de Sensores de la época que eran el gran consumo de potencia, equipos demasiado grandes y alto costo de implementación y mantenimiento” (Gordón & Vásquez, 2012, p. 6). Su construcción buscaba unir dentro de una plataforma el sensor, sistema de comunicación y procesador.

2.15.2 Sensores

Los sensores son un dispositivo eléctrico encargado de medir distintitos estímulos externos tales como, la humedad, temperatura, vibraciones, distancia, presión o movimiento. Una vez hecha la medición, los sensores se encargan de procesarlas y transformarlos en señales eléctricas para transmitir la información. Están compuestos por tres elementos; el acondicionamiento de señal, convertidor, un software que permite el registro y el análisis de las mediciones. Muchos de los sensores dependen de un nodo encargado de “tomar la información del sensor y enviarla a la estación base”.

2.15.3 Sistemas de Monitorización

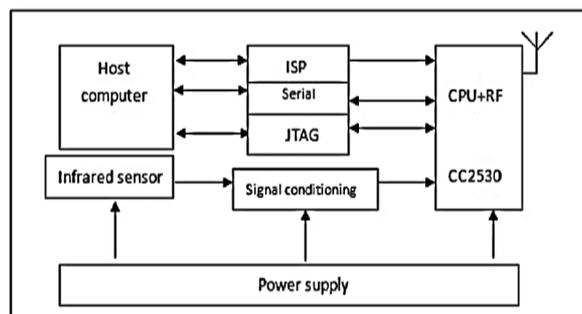
Existen algunos proyectos que se han realizado con el fin de presentar diferentes sistemas de monitorización de temperatura, humedad, clima y plagas basados en el estándar Zigbee. A continuación, se pasan a detallar algunos de estos.

2.15.4 Sistema de Monitorización de Temperatura

En el estudio de Peng & Wan (2013), los autores mencionan que en el campo industrial, el funcionamiento de equipos a largo plazo conlleva rápidamente a un aumento en la temperatura. A partir del estándar ZigBee, elaboran un sistema de monitoreo remoto inalámbrico de la temperatura de una gran cantidad de equipos dispersos en varias ubicaciones de distintas fábricas y empresas.

El sistema utiliza un sensor de temperatura infrarroja TS118-3 que recopila información de temperatura. Después de un circuito de acondicionamiento de señal, utiliza un RF inalámbrico de un solo chip CC2530 que transmite de forma inalámbrica la temperatura del objetivo medido al nodo receptor. El nodo receptor carga los datos a un ordenador por RS232. Finalmente, el software del PC muestra información de temperatura en tiempo real.

Imagen 3. Monitorización de temperatura



Fuente: Peng & Wan (2013)

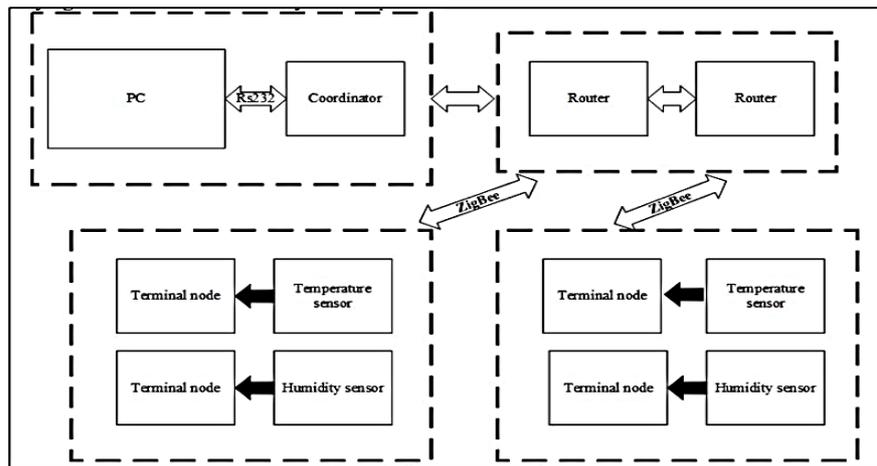
2.15.5 Sistema de Monitorización de Temperatura y Humedad

El sistema empleado por Liu (2020) se basa en la tecnología ZigBee. La red de sensores inalámbricos de este sistema adopta la estructura de topología de malla, que se compone

principalmente del equipo de computadora superior, el coordinador, router y el nodo terminal.

Entre ellos, el router y el nodo terminal son responsables de transmitir los datos medidos por el sensor de temperatura y humedad al coordinador a través de la red, escribir un programa a través del entorno de desarrollo IAR, y luego transmitir los datos recogidos, que es el agregado progresado en el coordinador, a la computadora a través del puerto serie RS232, y simultáneamente recibir y transmitir los datos controlados enviados por la computadora.

Imagen 4. Monitorización de temperatura y humedad

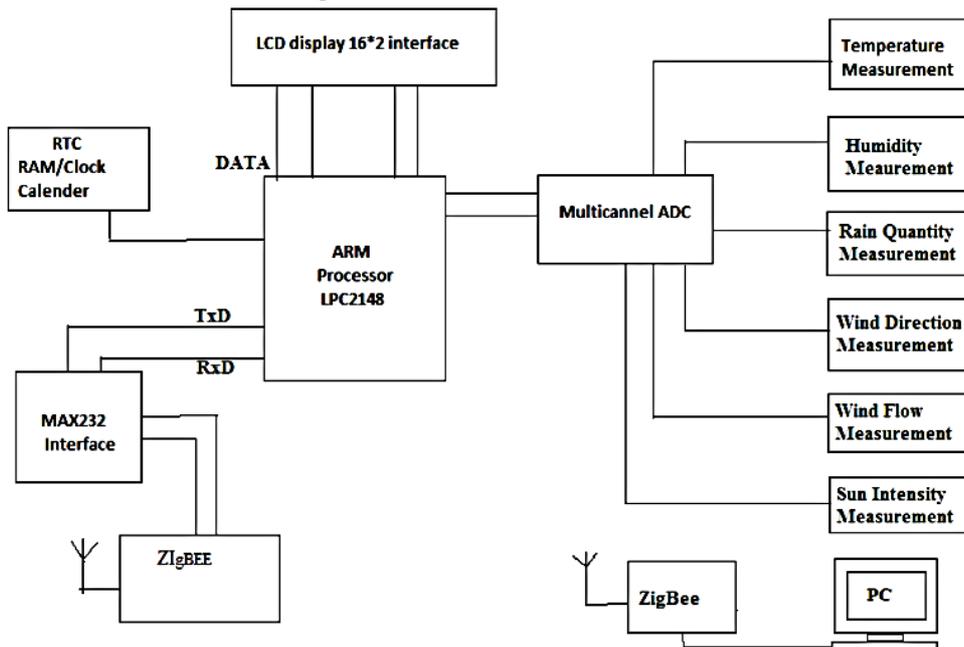


Fuente: Liu (2020)

2.15.6 Sistema de Monitorización del Clima

En Gahlot et al. (2015) se puede encontrar también el diseño de un sistema de monitorización del clima. El diseño de sistema propuesto consiste en un transmisor, así como un receptor. La sección del transmisor consiste en diferentes tipos de unidades de detección de temperatura, humedad, medición de la cantidad de lluvia, dirección del viento, flujo del viento, así como la intensidad del sol.

Imagen 5. Monitorización del clima



Fuente: Gahlot et al. (2015)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

Bibliográfico Documental: El trabajo de revisión bibliográfica forma una etapa esencial de todo proyecto de investigación y se debe avalar la obtención de la información más notable en el campo de estudio, de varios documentos que puede ser muy extenso [13].

En el desarrollo del proyecto se aplicó la investigación bibliográfico documental en el desarrollo del marco teórico del proyecto, en la investigación de temas relacionados con el proyecto de investigación, la revisión se la realizó de repositorios digitales válidos, artículos científicos, papers de investigación y libros relacionados con la investigación planteada.

De campo: La investigación de campo es importante ya que es la recopilación de datos nuevos de fuentes principales para un propósito determinado. Es un método de recolección de datos cualitativos enfocado a observar, comprender e interactuar con las personas en su entorno natural [14].

Tal como hace referencia el concepto la presente investigación es de campo ya que se tiene contacto directo con los productores de papa del cantón Guano de los cuales se obtuvo dato en cuanto a los sembríos de papa, así como tipos de papa que se dan en el sector y factores que afecta los sembríos.

Aplicativa: La investigación aplicada investiga la generación de conocimiento con aplicación inmediata a los problemas del sector productivo o de la sociedad. El presente trabajo presenta un enfoque sobre los caminos a seguir en el desarrollo de investigación aplicada, la importancia de la ayuda entre la universidad y la industria en el proceso de transferencia de tecnología, asimismo como los aspectos afines a la protección de la propiedad intelectual durante este proceso [15].

La presente investigación es de tipo aplicada puesto que en primer lugar se debe poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera en el desarrollo del proyecto tanto en la construcción de la red de sensores como en el desarrollo de la aplicación móvil y como segundo punto el proyecto debe ser implementado para el control de la productividad del cultivo de papa.

3.2 Técnicas

Encuesta: La encuesta es una técnica la cual nos permite analizar la recogida de datos, o sea una forma concreta, práctica y particular de un procedimiento de investigación [16].

La encuesta se aplicó a un grupo de productores de papa del cantón Guano con el fin de determinar si los sistemas implementados mejoraron la productividad de papa y así poder afirmar o denegar la hipótesis planteada en el proyecto de investigación.

Entrevista: La entrevista es una técnica de mucha importancia y de gran utilidad en la investigación cualitativa para recabar datos; es como una conversación que se plantea un fin fijo distinto al de conversar. Heinemann plantea para complementarla, el uso de otro tipo de incitaciones, por ejemplo, visuales, para obtener información útil y precisa para resolver la pregunta central de la investigación [17].

Observación: En la investigación cualitativa las primordiales estrategias de generación de datos son las participativas y encontramos la observación participante, las historias de vida

y las entrevistas y las no interactivas entre las que podemos recalcar los documentos oficiales, registros, estatutos, expedientes etc. y personales diarios, autobiografías [18]. Dentro del proyecto se aplicó la técnica de la observación ya que logró conocer de primera mano los distintos factores que afectan la productividad de los cultivos de papa en el cantón Guano provincia de Chimborazo.

3.3 Instrumentos

Guía de encuesta: Conjunto de preguntas cerradas que se aplicó a los productores de papa con la finalidad de conocer la influencia de la implementación de los sistemas planteados en la productividad de papa del cantón Guano.

3.4 Hipótesis

¿Cómo influye la implementación de un sistema de control de factores abióticos y bióticos en la productividad de los cultivos de papa del cantón Guano?

3.5 Estudio de los Métodos y Dispositivos de Hardware y Software

3.5.1 Tipos de Redes Inalámbricas que se Aplican en el Sector Agrícola

Las redes inalámbricas en la actualidad son utilizadas en diferentes áreas, por ello su elección consiste a qué distancia y rapidez se requiere transmitir los datos, según esto se utilizará el tipo de red con las características adecuadas. Otro factor importante que posee las redes inalámbricas es que brinda flexibilidad en el tiempo y autonomía, independiente de una estructura física, en tanto su transmisión de datos se basa en un centro de coordinación inalámbrica, las redes más comunes son las siguientes:

3.5.2 Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)

Tabla 1. Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Bluetooth	Transmisión de voz y datos, frecuencia 2,4 GHz	Bajo Costo	Corta distancia de cobertura 10 – 100 m
Dect	Transmisión de voz para telefonía análoga, frecuencia de 1880-1900 MHz	Se puede cifrar la información	Corta distancia de alcance de 25 – 100 m
NFC	Transmisión de datos por radio frecuencia banda de 13,56 MHz	Se usa en telefonía de gama media y alta	Corta distancia de alcance máximo 20 cm
Zigbee	Trasmisión de datos por radio frecuencia de operación de 2.4 GHz	Bajo costo	Alcance va dependiendo del modelo hasta unas 30 millas

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

WPAN son redes inalámbricas personales que cubren distancias cortas que esencialmente son utilizadas para periféricos de oficina o de uso personal como son la impresora, la radio, audífonos etc. La transmisión de datos es de baja capacidad y el rango de alcance es de unos pocos metros.

3.5.3 Red de Sensores Inalámbricos de Área Personal (WPAN)

Una red de sensores inalámbricos está conformada por varios dispositivos pequeños de capacidad sensitiva, por esa razón, puede ser integrados y distribuidos en un área a la que se va a realizar la monitorización, estos dispositivos pueden, recolectar, procesar y transmitir todos los datos que se han censado sin infraestructura física para su transmisión [14].

3.5.4 Hardware Libre

Existen diferentes placas de programación de fuente libre que permiten desarrollar diversos proyectos electrónicos, debido a que no requieren licencia y son de bajo costo. Por ejemplo, los más utilizados son: Arduino, PICS, Raspberry pi y BeagleBone [15].

Tabla 2. Ventajas y Desventajas

VENTAJAS Y DESVENTAJAS		
Dispositivos	Ventajas	Desventajas
Arduino	<ul style="list-style-type: none"> • Posee el programador incorporado en la plataforma. • Es de bajo consumo, ideal para usos de larga duración. • Se encuentra amplia documentación de apoyo. • Flexibilidad para distintos tipos de interfaces • Es de bajo costo, es decir es relativamente barato. 	<ul style="list-style-type: none"> • No es capaz de manejar diferentes procesos al mismo tiempo. • Debido a que en la programación se emplea librerías, se produce un retraso en la ejecución de las instrucciones.
PIC	<ul style="list-style-type: none"> • Maneja diversos procesos al mismo tiempo. • Maneja varios softwares como PICC, MPLAB. • Poseen varios tipos de Pics. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesitan llamar a muchas instrucciones para realizar una tarea en particular. • Altos costos.
BeagleBone	<ul style="list-style-type: none"> • Posee una memoria flash y un sistema operativo ya instalado • Posee un gran número de entradas y salidas (GPIO) • Tiene un procesador de 1 GHZ 	<ul style="list-style-type: none"> • Posee un solo puerto USB • No existen suficiente información de tutoriales o material de apoyo para el desarrollo de proyectos • No posee codificación de video.
Raspberry PI	<ul style="list-style-type: none"> • Es una minicomputadora, su procesador es de 700 MHZ. • Posee un puerto ethernet para fácil conexión a internet. • La placa permite expansión debido a que tiene compatibilidad con Arduino. 	<ul style="list-style-type: none"> • No posee suficientes interfaces para la conexión de sensores externos.

Fuente: [15]

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.5 Sensor de Humedad y Temperatura

El sensor de humedad relativa y temperatura ambiente DHT22 ofrece una señal digital de salida calibrada y utiliza un capacitor de humedad de polímetro como elemento de medición. El rango de sensibilidad de la humedad relativa es de 0 a 100%, mientras que el rango de temperatura es de -40 a 80°C. Por otro lado, el tiempo de lectura se puede realizar como mínimo cada 2 segundos, lo que lo convierte en el más lento en comparación con los demás sensores existentes en el mercado, pero es una buena opción para sistemas en los que el ahorro de energía es vital.

3.5.6 Sensor de Temperatura

El sensor LM35 proporciona a su salida la temperatura en grados centígrados, no requiere calibración y ofrece un rango de sensibilidad de temperatura de -55°C a 150°C. El costo de este dispositivo es menor que el del sensor DHT22, pero no es la mejor opción para redes de sensores inalámbricos, esto debido a que se aumenta el consumo de energía por las mediciones constantes y con la posibilidad de solamente medir una variable como es la temperatura [16].

3.5.7 Sensor de Humedad y Temperatura de Suelo

Este sensor posee una cubierta impermeable, su rango de medición es de 0 a 100 % de humedad de suelo y de -40 a 125 °C con respecto a la temperatura de suelo. En cuanto a la implementación en aplicaciones de redes de sensores tiene una desventaja, la cual es su precio elevado con respecto a otros sensores que no tienen las mismas características pero que cumplen la misma función.

3.5.8 Sensor de Humedad del Suelo

El FC-28 es un sensor capacitivo para medir humedad de suelo que utiliza como parámetros de medición la conductividad entre sus terminales relacionando líquidos, agua y humedad. Es decir, cuando exista mayor afluencia de líquidos en el suelo el flujo de corriente aumentará y será detectado por un circuito que posee un amplificador operacional. Por lo tanto, transformará la conductividad registrada a un valor analógico que podrá ser interpretado por una tarjeta para ser procesada su información.

3.5.9 Sensor PH LabSen 553

Este sensor tiene un sistema de larga duración, una estructura ideal para usos en condiciones medioambientales duras se mide de 0 a 14, posee un conector BNC/RCA, una de las desventajas que posee es que no es compatible con medidores de otras marcas y su precio es elevado.

3.5.10 Sensor PH+BNC para Arduino

Este sensor de pH es un dispositivo que permite medir la acidez del suelo en un rango de 0 a 14. Posee una sonda de electrodo BNC que detecta una pequeña cantidad de corriente acorde a la alcalinidad o acidez del suelo, su valor neutral es el agua pura que posee un valor de pH de 7, mientras que valores menores a 5.5 se consideran ácidos y valores superiores a 7 representan alcalinidad en el suelo.

3.5 Metodología

3.5.11 Selección de dispositivos y diseño del sistema

En este capítulo se analizarán las diferentes tecnologías y requerimientos, los cuales darán paso al desarrollo de la red inalámbrica de sensores, también se definirá el diseño de red propuesto, así como la elección y los diferentes pasos para integrar cada uno de los elementos

de los nodos, crear el sistema de control de temperatura humedad relativa de ambiente y suelo que se encuentren en el ambiente.

3.5.12 Análisis de requerimientos

Para diseñar un sistema de detección de factores bióticos como abióticos es necesario establecer los diferentes parámetros los cuales permitan identificar que dispositivos y cuáles son las funciones las cuales van a desempeñar dentro del sistema teniendo en cuenta que todo esto se realizara en una red inalámbrica de sensores.

- **Procesos Físicos:** Los cuales necesitan medir la humedad relativa del ambiente, temperatura, humedad del suelo.
- **Captura de Variables:** Todos estos datos ambientales deben de ser captados por sensores que posean una alta sensibilidad a la presencia y no varíen las características del entorno.
- **Acondicionamiento y Proceso de Señal:** Una vez captada las medidas de sensores estas deben acondicionarse a la señal para poder obtener una señal idónea en unidades medibles, posterior a ello se debe ejecutar un proceso de control automático para almacenar la información, transmitir la información dependiendo de los requerimientos y necesidades de la aplicación.
- **Control de Variables y Dispositivos:** En base a los datos obtenidos mediante la lectura de los sensores se debe de establecer que acciones preventivas o correctivas se pueden realizar mediante los actuadores.
- **Sistema de Comunicaciones:** La trasmisión de los datos obtenidos debe de realizarse por dispositivos de comunicación inalámbrica.
- **Topología de Red:** Se debe de seleccionar una red la cual permita la intercomunicación de cada uno de los nodos de la red con una sola estación de control.
- **Almacenamiento de Datos:** Se debe de contar con un registro el cual permita visualizar al usuario en todo momento la información obtenida.
- **Estación de Control:** En esta debe existir una comunicación continua entre la red interna y el usuario con el fin de poder monitorear en tiempo real el comportamiento del sistema.
- **Alimentación:** Se debe de seleccionar la mejor fuente de energía la cual permita que todos los dispositivos de red tengan un prolongado tiempo de funcionamiento.

3.5.13 Esquema General del Sistema



En el esquema general se encuentran los nodos los cuales formaran parte de la red y los diferentes elementos de comunicación en la banda 2.4GHz según las especificaciones del protocolo zigbee. Para ello se optó por diseñar una red tipo malla, el proceso de funcionamiento de la red cuenta con las siguientes etapas:

3.5.14 Etapa 1: Recolección de Datos

Se configura las tarjetas de desarrollo ARDUINO UNO para que tomen lectura de la temperatura, humedad relativa y humedad de la tierra a través de los diferentes sensores equipados y se ubican en determinadas zonas de área de control. Los nodos routers sensores equipados con sensores de temperatura y humedad, estos únicamente detectan la densidad de humedad del ambiente y envían la información al coordinador, además poseen la facultad de activar actuadores.

El nodo router actuador equipado con servomotor o relé de estado sólido, los cuales actúan en aspersores o ventiladores por los cuales tienen la capacidad de manipular y controlar el ambiente tanto en apertura y cierre de válvulas de agua cuando esta humedad tanto en suelo como en ambiente se encuentren por debajo o encima de los parámetros respectivamente.

Además, comunicaran al coordinador y a los demás dispositivos dentro de la red para que los demás sensores y actuadores que conformen la red puedan tomar las acciones necesarias las cuales permitan tener las condiciones óptimas de cultivo.

3.10.2 Etapa 2: Transmisión y Recepción de Datos

Todos los nodos conformados como nodos router sensor o nodos router actuador poseen un dispositivo de comunicación inalámbrica que hace posible la conexión tanto con el coordinador como entre nodos routers, el funcionamiento de la topología malla se configura en estos dispositivos.

3.10.3 Etapa 3: Análisis y Control de Datos

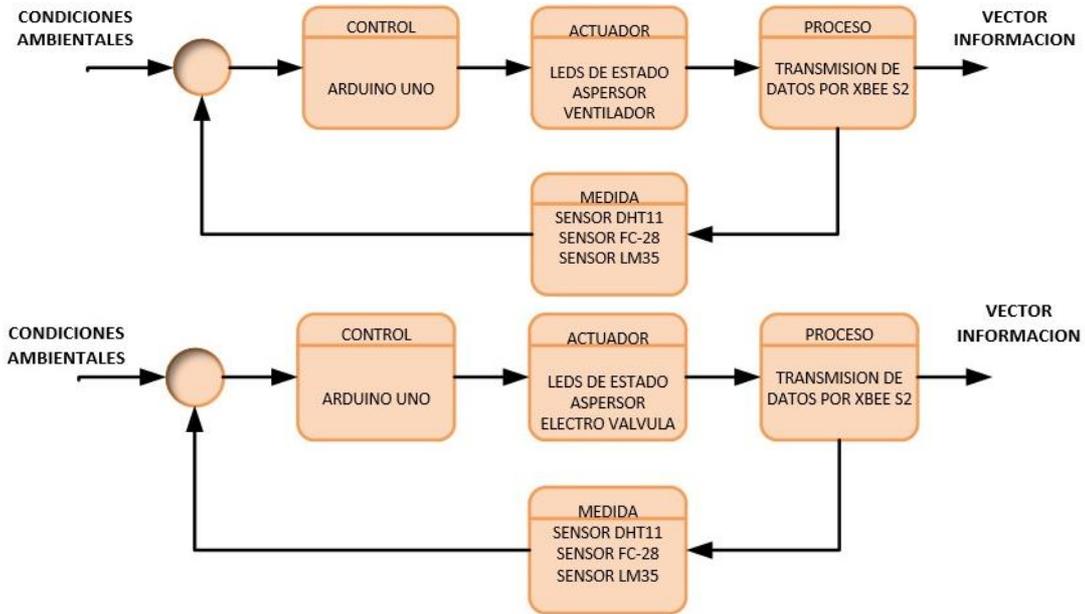
Durante esta etapa el coordinador quien ejecuta el transporte de los datos de comunicación entre los distintos nodos de la red inalámbrica. toma la información recolectada por toda la red inalámbrica y es enviada por los nodos sensores, la procesa y posteriormente las en ruta hacia la estación de control, para generar los reportes necesarios los cuales permiten conocer el estado del sistema y las condiciones ambientales en tiempo real en las que se encuentra el área de estudio o cultivo.

El nodo coordinador también se encarga de la comunicación de la red interna de la red a través de los diferentes módulos inalámbricos, enlazarla a través de diferentes técnicas a red celular o a protocolos tcp/ip mediante diferentes módulos gsm además el nodo coordinador al poseer un amplio rango de tensión de alimentación posee una ranura microSD para el uso de almacenamiento de datos masivos.

3.5.15 Diseño de Nodo Sensor y Nodo Router Actuador

Si bien los nodos cumplen las mismas funciones, como las de obtener la lectura de la temperatura y humedad tanto de suelo como ambiental, la diferencia entre router sensor es que únicamente capta las lectura de los sensores y los envía hacia el nodo coordinador, mientras que el router actuador además de enviar datos de los sensores este efectúa el control sobre el cierre de las válvulas, así como también la apertura y cierre del relé de estado sólido que se encuentran en el área de estudio con los límites de los factores ambientales a controlar. En general los diferentes nodos router sensor y nodos router actuador se consideran como un sistema de control de lazo cerrado.

Imagen 7. Diagrama de bloques de nodos: router sensor y router actuador



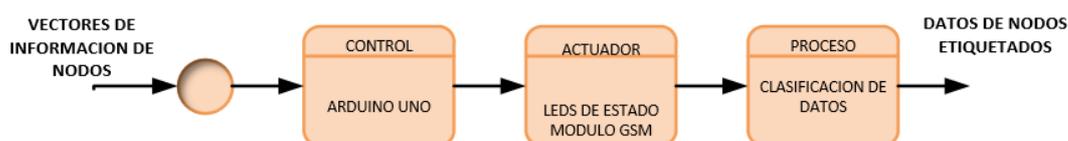
Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

- **Sensor:** Los sensores de temperatura y de humedad envían lecturas de tipo analógicas a la tarjeta controladora.
- **Control:** Una vez obtenidos los datos en la tarjeta controladora se realizan los diferentes procesos descritos en las secciones anteriores donde se transforman los valores obtenidos en valores los cuales el usuario pueda entender.
- **Actuador:** En los routers sensores estos poseen indicadores los cuales indican al usuario las condiciones óptimas y de estado en el que se encuentra el ambiente, verde es para condiciones óptimas, amarillo para condiciones perturbadas y rojo en ejecución todos los actuadores, con el encendido de este ultimo los ventiladores y aspersores tendrán que ser ejecutados hasta poder lograr las condiciones óptimas de cultivo. En cuanto a los routers actuadores presentan los mismos mecanismos y el mismo plan de ejecución y prevención.
- **Proceso:** Ya que no estén presente las condiciones ambientales, el sistema toma lecturas de los diferentes sensores, los empaqueta y los envía en forma de trama de datos a través de los diferentes módulos de comunicación inalámbricos el que permite que el coordinador realice su procesamiento la manera en la q se compone la trama de datos se configura de esta manera.

3.5.16 Diseño de Nodo Coordinador

Para la ejecución del nodo coordinador hay que asegurar que todos estos cumplan con los parámetros los cuales se definen en las diferentes estaciones de control en un sistema telemétrico los criterios de almacenamiento de datos óptimos de los sistemas de comunicaciones, adecuado al microprocesador, y la facilidad de este de conectarse a las diferentes redes externas, la velocidad de respuesta y la interacción con el usuario la cual mejorara y permitirá un mejor funcionamiento con la red inalámbrica de sensores teniendo en cuenta al coordinador como un elemento muy esencial dentro de la misma WSN.

Imagen 8. Diagrama de nodo coordinador



Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

- **Control:** En el microcontrolador del módulo se encuentran alojadas todas las rutinas y funciones establecidas que permitan realizar los procesos descritos una vez ingresadas las tramas de datos de los nodos sensores a través del módulo inalámbrico.
- **Actuador:** Dependiendo de los estados de los identificadores dentro de las tramas de datos recibidas, se procede a conectar la red interna con la red externa celular, esto con el fin de informar al usuario el estado actual del sistema. Además, se cuenta con leds que muestran el estado tanto de la conexión interna como de la externa, así como leds que alertan solo cuando exista presencia de humedad en suelo. Si el usuario desea conocer el estado del sistema, tiene que enviar una clave a la tarjeta SIM registrada, si la clave es correcta el sistema le permitirá conocer el nivel de cada nodo sensor en tiempo real, a través de un módulo de comunicación GSM.
- **Proceso:** En esta etapa se toma las tramas de datos recibidas, se las clasifica y etiqueta de acuerdo con su identificador de nodo y se almacena en una tarjeta microSD para su posterior análisis. Estos datos procesados se los muestra en la pantalla LCD incorporada en el dispositivo.

3.5.17 Selección de Recursos

En este apartado se presentan los diferentes argumentos tomados en cuenta para seleccionar a los dispositivos los cuales integrarán y formarán parte de la WSN, con el fin de cubrir todos los requerimientos del entorno agrícola tanto de temperatura, humedad del suelo, y humedad relativa para así poder obtener una mejor eficiencia en el uso de los recursos hídricos una vez puestos en operación.

3.5.18 Selección de Detectores de Temperatura

En el área de agricultura se consideró usar sensores los cuales nos permitan tomar datos de la temperatura ambiente los cuales emiten una respuesta analógica en mV el cual permitirá mediante sus componentes internos variar la resistencia para obtener una lectura análoga de la temperatura exterior, estos sensores dependiendo del modelo pueden utilizar una tensión entre los 5 y 2V, el sensor se comporta como una resistencia el cual genera la necesidad de usar una resistencia de carga "RL" la cual nos permite cerrar el circuito y con este realizar un divisor de tensión para poder tomar este dato y poder leerlo e interpretarlo mediante un microcontrolador.

Por lo tanto, se plantea el uso de sensores de la serie LM los cuales son fáciles de implementar y se adaptan fácilmente a cualquier tipo de controlador ya sean tarjetas de desarrollo o microcontroladores, en ocasiones existen módulos los cuales nos facilitan la interpretación y conexión de estos sensores ya entregándonos una respuesta tanto analógica como digital dejando ya el procesamiento de las medidas obtenidas sean del criterio de la persona la cual está desarrollando el proyecto.

3.5.19 LM35

Para poder medir en el rango entre -5°C y 100°C , por limitación en los componentes se diseñó bajo las características del sensor LM35, el cual fue seleccionado por su bajo costo, su fácil adquisición y demás características que se presentaron antes, Este sensor cuenta con un rango entre -55°C a 155°C y un factor de escala lineal/sensibilidad de $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Sabiendo que el ADC tiene 15 bits de resolución se procede a calcular el bit menos significativo “LSB” y teniendo en cuenta que la máxima salida del sensor es de 1V ; que en la etapa de adaptación se amplificará a 4.5V , se obtiene que: $LSB = 4.5 \cdot 2^{-15} = 137.3\text{ }\mu\text{V}$ Para asegurar la resolución, el voltaje correspondiente a un cambio de 0.2°C debe ser mayor al valor de LSB y que el piso de ruido sea menor a este valor. Un cambio de 0.2°C equivale a 9 mV , el cual es mayor al bit menos significativo y a su vez está sobre el nivel de piso de ruido medido. Se obtienen los siguientes valores de temperatura.

Tabla 5. Sensor de temperatura LM35

Temperatura	Voltaje
25	2.9
0	3.05
25	3.2
50	3.365
75	3.468
100	3.622

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.20 Selección de Detectores de Humedad Ambiental

En el área de la agricultura es muy indispensable tener un control de la humedad relativa del ambiente ya que esta proporciona la proliferación de bacterias y plagas, por lo cual podemos utilizar diferentes tipos de sensores de nivel capacitivo el cual nos podrá facilitar los datos de la humedad ambiental teniendo en cuenta su margen de error y la capacidad de obtener una mejor fiabilidad de los mismo, estos sensores utilizan una tensión comprendida entre los 3 a 5V , en el mercado actual existen módulos de detección el cual nos permitirán medir tanto temperatura ambiental como la humedad relativa del aire estos son de la familia de los módulos DHT los cuales nos permitirán obtener los dos datos mediante un mismo sensor.

Tabla 6. Sensores de temperatura y humedad.

SENSOR	MÓDULO
DHT11	
DHT21	
DHT22	

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Estos son los sensores de humedad relativa y temperatura a considerar para la ejecución del proyecto.

Tabla 7. Datos de los sensores de temperatura y humedad

Módulo Sensor	Rango De Detección Humedad	Rango De Detección Temperatura	Alimentación	Precio del Mercado
DHT11	20% a 90%	0 a 50 °C	3 a 5 V	3.50
DHT21	0 a 100%	40 a 80 °C	3.5 a 5.5 V	8.00
DHT22	0 a 100%	40 a 80 °C	3 a 6 V	12.50

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Se consideran estos tres modelos DHT ya que se encuentran disponibles en el país. Si bien comparten un similar rango de detección, y prácticamente la misma tensión de alimentación, se nota una pequeña diferencia en su precio, por lo que se seleccionó el sensor DHT11 por las siguientes razones:

- A pesar de que se dispone de los 3 modelos de sensores en el país, el modelo DHT11 es el más fácil y rápido de conseguir.
- Existen módulos integrados con el sensor que facilitan la adaptación a tarjetas controladoras.
- Es más sensible al cambio de clima tanto en humedad como en temperatura.
- Su tabla de control viene especificada en grados Celsius y porcentaje de humedad relativa.
- Tiene un precio aceptable.

3.5.21 Sensor DHT11

Para medir en el rango determinado entre 0 y 100 % RH, el sensor DHT11 al igual que el sensor de temperatura fue seleccionado gracias a su fácil adquisición, su tamaño y características apropiadas que se presentan. Este sensor, da un voltaje con un rango entre 0.8 V y 3.8 V; obteniendo así 3V entre el intervalo de humedad propuesto. Sabiendo que el ADC tiene 15 bits de resolución se procede a calcular el bit menos significativo (LSB). Teniendo en cuenta que el máximo valor a la salida del sensor (3.8 V) se amplificará a 4.5 V.

$$LSB = \frac{4.5}{2^{15}} = 137.3 \mu V.$$

Para asegurar la resolución el voltaje correspondiente a un cambio de 0.5 % RH tiene que ser mayor al valor de LSB. Con la linealidad del sensor se sabe que para un cambio de 0.5 %RH el voltaje crece o decrece en 17.76 mV asegurando que el ADC sea capaz de medir con la resolución anhelada y que el nivel de piso de ruido no afecte la resolución teniendo así los siguientes datos:

Imagen 9. Datos obtenidos por el sensor DHT11

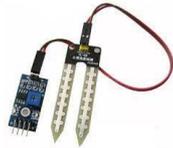
Hora	Humedad (%)	Temperatura (°C)
12:03:48	36.00	31.00
12:03:56	36.00	31.00
12:03:58	35.00	31.00
12:04:01	36.00	31.00
12:04:03	36.00	31.00
12:04:06	36.00	31.00
12:04:08	35.00	31.00
12:04:11	36.00	31.00
12:04:13	36.00	31.00
12:04:16	36.00	31.00
12:04:18	36.00	32.00
12:04:21	36.00	32.00

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.22 Selección de Detectores de Humedad de Tierra

Al realizar un estudio en el cual se ven involucrados factores ambientales y los diferentes recursos en los cuales se desarrolla un cultivo se opta por tener una humedad en el suelo la cual ayude al desarrollo de la planta, para obtener medidas de la humedad del suelo se realizara mediante un sensor Higrómetro en cual mide la resistencia existente entre dos electrodos insertados en ambiente a medir, la resistencia variara mediante la cantidad de humedad presente en el ambiente, estos sensores utilizan una alimentación comprendida entre los 3.3 a 5 voltios, los sensores a tener a consideración son los FC-28 y YL-69.

Tabla 8. Sensores de humedad terrestres

SENSOR	MÓDULO
FC-28	
YL-69	

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Tabla 9. Características de los sensores de humedad terrestres

Módulo Sensor	Rango De Detección Humedad	Alimentación	Precio Del Mercado
FC-28	0 a 100%	3.3 a 5 V	2.5
YL-69	0 a 100%	3.3 a 5 V	2.5

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Se consideran estos dos modelos ya que se encuentran disponibles en el país. Si bien comparten un similar rango de detección, y prácticamente la misma tensión de alimentación, se no nota la diferencia en su precio, por lo que se seleccionó el sensor FC-28 por las siguientes razones:

- A pesar de que se dispone de los 2 modelos de sensores en el país, el modelo FC-28.
- Es el más fácil y rápido de conseguir.
- Existen módulos integrados con el sensor que facilitan la adaptación a tarjetas controladoras
- Es más sensible al cambio de clima tanto en humedad con respecto a los otros sensores.
- Su tabla de control viene especificada el porcentaje de humedad y voltaje.
- Tiene un precio aceptable.

3.5.23 Sensor FC-28

Es un sensor que mide la humedad del suelo, se utiliza en sistemas de riego automatizados para detectar cuándo es necesario activar el sistema de riego. FC-28 es un sensor simple que mide la humedad del suelo cambiando la conductividad. Sin embargo, no es lo suficientemente preciso para medir la humedad del suelo de forma absoluta.

No hay necesidad de controlar el sistema de riego. FC-28 viene con una placa de medición estándar que se puede medir de la siguiente manera: como una salida digital que se activa cuando el valor analógico o la humedad superan un determinado umbral. Los valores obtenidos van desde 0 sumergido en agua hasta 1023 en aire. Un suelo ligeramente húmedo dará un valor típico de 600-700. El suelo seco tiene un valor de 800-1023.

Este sensor es excelente para monitorear la humedad de las plantas y el suelo. Tiene un potenciómetro incorporado que le permite cambiar el valor del umbral, si la humedad del suelo está por debajo de este valor, la salida digital mantendrá el valor "Alto", si la humedad del suelo está por encima del límite establecido, digital. la salida del módulo cambia al estado "Bajo". Son muy utilizados en sistemas de riego automático para determinar cuándo es necesario bombear la bomba.

3.5.24 Selección de Módulos Inalámbricos Zigbee

Se elige utilizar la tecnología Zigbee, debe seleccionar el módulo apropiado para implementar su sistema. Deben tenerse en cuenta aspectos como la programabilidad, el precio, la disponibilidad en el mercado y otros parámetros técnicos.

Hay una amplia variedad de dispositivos Zigbee en el mercado hoy en día, cada uno con su propio conjunto de características determinadas por una extensa lista de fabricantes de diferentes aplicaciones.

El dispositivo descrito es el módulo Zigbee mayor más utilizado en el mercado y se evalúan sus características para seleccionar el módulo ideal que cubra las necesidades del proyecto.

El modelo ZMN2400 ofrece las mejores prestaciones en la gama baja y presenta un bajo consumo de energía tanto en potencia de transmisión, modo de transmisión y modo de recepción, y su principal ventaja es su costo, pero la principal limitación es que ningún proveedor en el país cuenta con este módulo.

A pesar del elevado precio, el modelo XBee XB24 tiene un excelente aspecto en cuanto a robustez. Seguridad y configuración.

En comparación con otros modelos. Hay mucha información al respecto la configuración y diseño de estos módulos es a la vez una web y un libro, y un dispositivo. Puede adaptarse fácilmente a diferentes entornos de configuración de microcontroladores, con la principal ventaja de su disponibilidad en el país.

Tabla 10. Características Zigbee

Modelo/ Parámetro	ZMN2400	ZB-21 ZIGBEE	EASY BEE ZIGBEE	XBEE X24 S2
Alcances interiores /zona urbana	Hasta 50m	Hasta 30m	de 20 a 40m	Hasta 40m
Alcances exteriores en línea de vista	Hasta 300m	Hasta 100m	200m	Hasta 120m
Potencia de transmisión	1mW (0dBm)	0.6mW(-1dBm)	1mW(0dBm)	2mW (3dBm)
Tasa de Transmisión en RF	250Kbps	250Kbps	250Kbps	250Kbps
Sensibilidad del Receptor	92dBm	92dBm	92dBm	96dBm
Consumo de Corriente en Transmisión	30mA	45mA	18mA	40mA
Consumo de Corriente en Recepción	25mA	25uA	20mA	40mA
Frecuencia de Operación	ISM 2.4GHz	ISM 2.4GHz	ISM 2.4Ghz	ISM 2.4GHz
Dimensiones	21.2mm x 30.5mm	27mm x 15mm	43.5mm x 19.75mm	2.438cm x 2.761cm
Temperatura de Funcionamiento	40 a 85°C	20 a 70°C	40 a 85°C	40 a 80°C
Antena	PCB incorporada	Chip antena integrada	PCB incorporada en la placa	Dipolo omnidireccional
Topología de red que soporta	Punto a punto, malla	Punto a multipunto, malla	Punto a multipunto, malla	Punto a punto, punto multipunto, malla
Número de canales	16 canales de secuencia directa	16 canales de secuencia directa	16 canales de secuencia directa	19 canales de secuencia directa
Precio	\$ 30	\$ 51	\$ 49	\$ 42

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.25 Módulo XBee S2

Este es el módulo XBee S2 que se muestra en la Imagen 10. La Serie 2 mejora la potencia de salida y el registro de datos. Los módulos de esta serie le permiten crear redes de malla complejas basadas en el firmware XBeeZB Zigbee. Estos módulos permiten una comunicación muy sencilla y fiable entre microcontroladores, ordenadores, sistemas y cualquier dispositivo con puerto serie. Admite redes punto a punto y multipunto. Si el firmware se actualizó a través del software XCTU, puede usar el módulo de la serie 2.5.

Imagen 10. Módulo XBee S2



Fuente: [13]

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Cuenta con 6 puertos de entrada analógica/digital de 10 bits, 8 puertos de E/S digitales y cifrado de 128 bits. Para configurar los parámetros, necesita un dispositivo llamado "XBee Explorer" como se muestra en la Imagen 13. Esto le permite establecer una conexión entre el software y el dispositivo a través del puerto USB.

Imagen 11. XBee Explorer



Fuente: [13]

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.26 Selección de Módulos de Procesamiento

Hay placas de diferentes fabricantes en el mercado con diferentes series de microcontroladores, las principales plataformas de desarrollo incluyen Arduino, Wasmote, Intel Galileo y Spark. De las plataformas anteriores, se seleccionó Arduino como bloque de procesamiento. Las razones son las siguientes:

- Tenemos una gran comunidad. Muchas personas en el país y en todo el mundo lo usan, brindan documentación y comparten ideas constantemente.
- El entorno de programación es multiplataforma.
- Es compatible con Windows, Linux y Mac.
- Las placas Arduino son reutilizables y versátiles.
- Arduino es gratuito y escalable.

Al continuar evaluando las características funcionales de los modelos disponibles. La Tabla 12 también muestra las características de cada modelo de placa Arduino.

Tabla 11. Características de Arduinos

	LEONARDO	NANO	DUE	MEGA ADK	MEGA2560	UNO
Micro controlador	ATmega32u4	ATmega168 o ATmega328	AT91SAM3	ATMega2560	ATMega2560	ATMega328P
Voltaje de entrada	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V
Pines digitales E/S	20	14 (6 salidas PWM)	54 (12 salidas PWM)	54 (15 salidas PWM)	54 (15 salidas PWM)	14 (6 salidas PWM)
Pines entrada	12	8	12	16	16	6
Memoria Flash	32 KB (4 KB usado por el boot.)	16 KB (ATmega168) o 32 KB (ATmega328) 2KB.	512 KB (para apps.)	256 KB (8 KB usado por el boot.)	256 KB (8 KB usado por el bootloader)	32 KB (0.5 KB usado por el boot.)
EEPROM	1KB	512 bytes o 1 KB (ATmega328)	----	4 KB	4 KB	1 KB
Reloj	16 MHz	16 MHz	84 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Dimensiones	68.6mm x 53.3mm	45mm x 18mm	101.52mm x 53.3mm	101.52mm x 53.3mm	101.52mm x 53.3mm	68.6mm x 53.4mm
Precio	\$ 21	\$ 10	\$ 40	\$ 50	\$ 22	\$ 15

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Los modelos Uno, Nano y Leonardo tienen una capacidad de memoria significativamente reducida en comparación con otros módulos, pero el punto principal son las conexiones de E/S analógicas y digitales que probablemente se necesiten para el desarrollo del módulo. El sistema, que desperdicia recursos y maximiza las capacidades de cada tablero. Finalmente, se eligió la placa Arduino Uno entre tres modelos por las siguientes razones:

- Las características se prueban y se pueden adaptar rápidamente al módulo XBee S2 y sensores seleccionados.
- Las dimensiones son razonables ya que se pretende incluir el nodo sensor como un pequeño dispositivo en la infraestructura del hogar.
- Hay un escudo XBee (placa) que se puede adaptar fácilmente a los modelos Arduino Uno, ahorrándole tiempo en la creación de circuitos que fusionan las propiedades de su módulo inalámbrico con su placa Arduino.

- Hay una ranura USB externa que puede usar una fuente de alimentación independiente.

3.5.27 Arduino UNO

El Arduino UNO es una versión mejorada de su predecesor, el Duemilanove. Cuenta con una función de reinicio automático, protección contra sobrecargas, un puerto USB para programación y está completamente ensamblado con componentes SMD en miniatura (tecnología de montaje en superficie).

Esta placa utiliza un microcontrolador ATmega328 con un cargador de arranque que se puede programar sin necesidad de un programador externo. También gestiona el puerto USB mediante el microcontrolador ATmega16U2. Esto aumentará las velocidades de transferencia y aumentará el almacenamiento.

Imagen 12. Hardware de Desarrollo



Fuente: [13]

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.28 Selección de Módulo de Control

Necesita un módulo que cree una conexión entre el usuario y la red interna formada por el dispositivo XBeeS2. La forma más práctica de hacerlo es utilizar una red celular GSM. Esto se debe a que las redes celulares GSM tienen una gran área de cobertura, su infraestructura está implementada por operadores celulares nacionales y los datos transmitidos no tienen que ser rápidos. La tabla muestra las propiedades del panel bajo consideración.

Tabla 12. Características de la Shield Gsm

	SHIELD GSM	SHIELD GSM SIM900
Procesador	Quectel M10	Sim900 Quectel M10
Alimentación	5VDC	4.8 – 5.2 VDC
Corriente	700 – 1000 mA	50 – 450 mA
Bandas	Quad-Band	Quad-Band
Puerto de antena	No	Si
Dimensiones	101.6 x 76.2 mm	110 x 58 x 19 mm 101.6 x 76.2 mm

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Del modelo anterior, se seleccionó la placa Shield GSM GPRS SIM900 porque utiliza un procesador SIM900 para establecer una conexión a la red móvil, lo que reduce el consumo de energía en comparación con los productos de la competencia. Además, el diseño de la placa es compatible con la plataforma Arduino, por lo que su configuración se puede realizar mediante el software "Arduino IDE".

3.5.29 Módulo SIM900 GSM/GPRS

Este módulo gestiona un sistema GPRS (General Packet Radio Service) que proporciona una forma de comunicarse con teléfonos móviles GSM a través de la red. El sistema puede generar SMS, MMS, GPRS y audio a través de comandos UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Se utiliza en aplicaciones como M2M (Machine to Machine), control remoto, redes inalámbricas de sensores e incluso sistemas de seguimiento de vehículos con módulos GPS.

Imagen 13. Módulo GSM



Fuente: [13]

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Si se desea el encendido automático, proceda a soldar el puente JP en el módulo como se muestra en la imagen 14. Esto le permite encenderlo y apagarlo a través del terminal Arduino D9 utilizado en este sistema.

Imagen 14. Puente JP



Fuente: [13]

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.30 Software para Desarrollo

3.5.31 Arduino IDE

Se utilizó el entorno de desarrollo integrado IDE (Integrated Development Environment), que es un entorno de programación empaquetado como un programa de aplicación. Consta de un editor de código, un compilador y un depurador. Incluye herramientas para cargar el programa compilado en la memoria flash del hardware. Arduino IDE es una placa controladora y una herramienta de configuración de módulos GSM.

3.5.32 XCTU

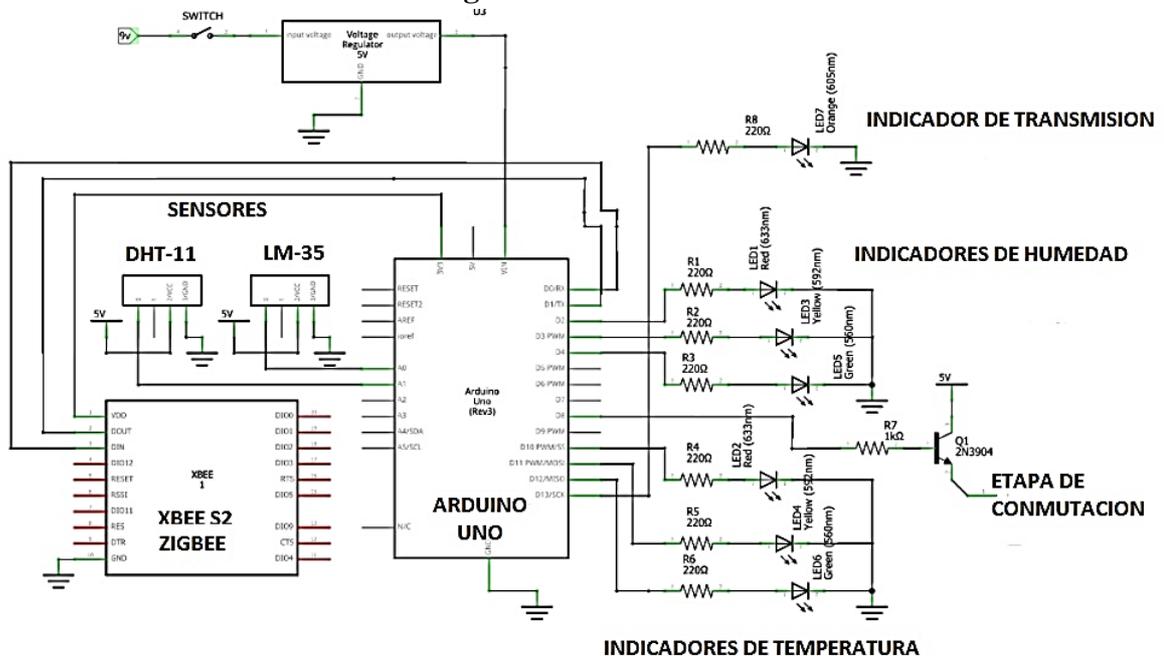
Para el bloque de transmisión se seleccionó el dispositivo de comunicación inalámbrica Xbee S2 desarrollado por Digi International. XCTU (Xbee Configuration & Test Utility Software) es una aplicación multiplataforma gratuita que permite a los desarrolladores interactuar con los módulos DigiRF a través de una interfaz gráfica fácil de usar. Incluye herramientas para facilitar la configuración, simulación y prueba del módulo XBee S2 y

todas las series disponibles. Este software es una herramienta para configurar y evaluar los parámetros de su red inalámbrica.

3.5.33 Esquema de conexión Nodo Router Sensor y Router Actuator

- Las salidas analógicas del sensor de humedad DHT11 y del sensor de temperatura LM-35 están conectadas a las entradas A0 y A1 de Arduino UNO, respectivamente. Los terminales VCC y GND de ambos sensores también están conectados.
- Los LED indicadores de nivel de humedad relativa de ambiente; verde, amarillo y rojo están conectados a las salidas digitales Arduino D4, D3 y D2 con resistencias de 220 Ω respectivamente.
- Los LED indicadores de nivel de temperatura verde, amarillo y rojo están conectados a las salidas digitales Arduino D11, D12 y D10 con resistencias de 220 Ω respectivamente.
- El indicador LED naranja de transferencia de datos está conectado a la salida digital 13 del Arduino con una resistencia de 220 Ω .
- El relé de estado sólido se conecta a la salida digital D8 del Arduino UNO mediante una resistencia de 1K Ω y un transistor 2N3904 como etapa de conmutación.
- Para la transmisión inalámbrica, el módulo XBee S2 se acopla al Arduino a través de la shield.
- Dependiendo del nivel de humedad en el ambiente y de temperatura, el LED descrito se encenderá y el LED indicador de transmisión indicará si los datos se están transmitiendo por el canal de comunicación.
- Cuando se enciende el módulo, los datos recibidos del sensor se enviarán a los terminales de salida digital D0 y D1 a través del módulo XBee S2 a través del puerto serie Arduino.

Imagen 15. Nodo Router

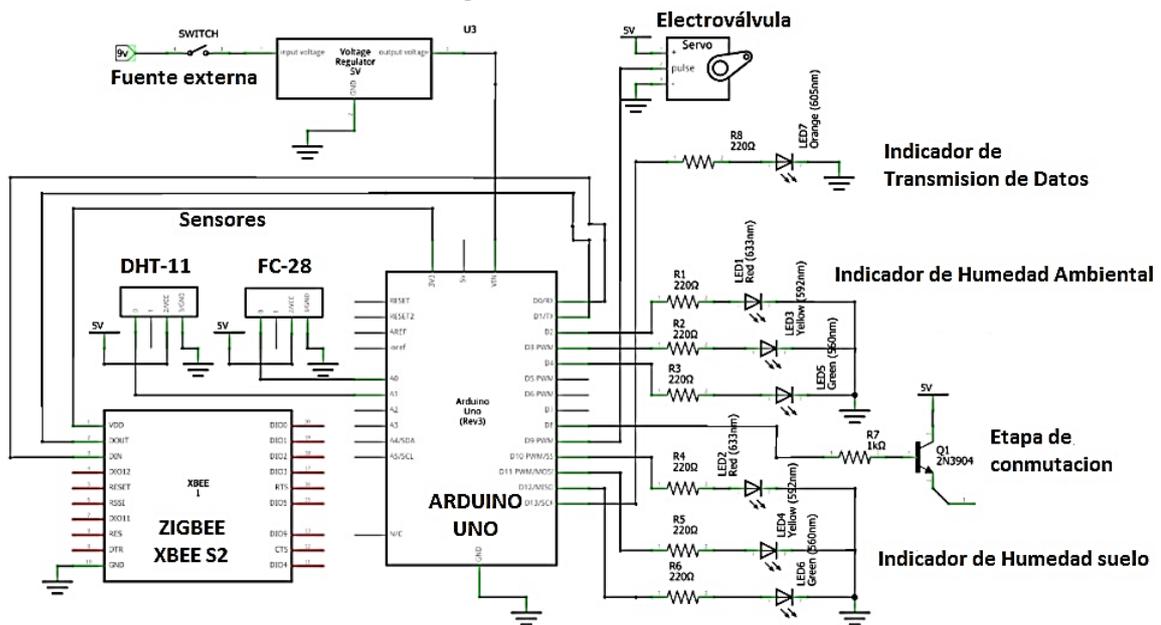


Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

En la imagen 16 se muestra las conexiones entre el módulo Arduino Uno, el módulo XBee S2 y el sensor de humedad, como se muestra. Se presenta un diagrama esquemático del nodo del enrutador del actuador.

- La conexión al módulo Arduino UNO es la misma porque tiene los mismos elementos que el nodo sensor router.
- Sin embargo, este módulo agrega el control de una válvula solenoide que consta de un servomotor y una válvula metálica de 1/4 de diámetro acoplada a una carcasa de plástico. Los pines de datos del servomotor están conectados al pin digital Arduino D9 y los pines VCC y GND de ambos módulos.
- Cuando se enciende el módulo, los datos recibidos del sensor son enviados por el módulo XBee S2 a través del puerto serie Arduino UNO a los terminales de salida digital D0 y D1.
- Dependiendo del nivel de humedad de ambiente y suelo, el LED descrito se encenderá y el LED indicador de transmisión indicará si los datos se están transmitiendo por el canal de comunicación.
- Si se detecta una concentración combinación peligrosa entre la humedad de suelo y ambiente, así como temperatura, la válvula solenoide se cierra y corta la circulación de agua del tanque de almacenamiento.

Imagen 16. Nodo Router



Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.34 Consumo de Corriente y Alimentación

Se necesita saber el consumo de energía de cada dispositivo. Esto es para seleccionar una fuente de alimentación independiente que garantice un funcionamiento estable y a largo plazo de cada nodo de la red de sensores inalámbricos.

Para ello se estima el consumo de cada elemento que compone el nodo en base a las características declaradas por el fabricante en sus respectivas fichas técnicas. Las tablas 13 y 14 muestran el consumo de energía estimado de los elementos del nodo del enrutador del sensor y del enrutador del actuador, respectivamente.

Tabla 13. Consumo de energía de los elementos

Elemento	Cantidad	Consumo Corriente Individual(mA)	Consumo Corriente Total(mA)
Arduino UNO	1	46	46
XBee Shield Arduino	1	40	40
XBee S2	1	40	40
Sensor DHT-11	1	≤150	150max.
Sensor FC-28	1	≤70	70max.
Led Rojo	2	15	30
Led Amarillo	2	13.63	29.26
Led Verde	2	11.36	22.72
Led Naranja	1	13.63	13.63
Conmutador	1	5	5
TOTAL			446.61 aprox.

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

En la siguiente tabla podemos observar el consumo de corriente en nodo router actuador.

Tabla 14. Consumo de energía en Router Actuador

Elemento	Cantidad	Consumo Corriente individual (mA) ²	Consumo Corriente total (mA) ²
Arduino UNO	1	46	46
XBee Shield Arduino	1	40	40
XBee S2	1	40	40
Sensor LM35	1	≤ 150	150 máx.
Sensor FC28	1	≤ 70	70 máx.
Electroválvula	1	160	160
Led Rojo	2	15	30
Led Amarillo	2	13.63	29.26
Led Verde	2	11.36	22.72
Led Naranja	1	13.63	13.63
conmutador	1	5	5
TOTAL			606.61 aprox.

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Se necesita saber el consumo de energía de cada dispositivo. Esto es para seleccionar una fuente de alimentación independiente que garantice el funcionamiento estable y a largo plazo de cada nodo de la red de sensores inalámbricos.

Para ello se estima el consumo de cada elemento que compone el nodo en base a las características declaradas por el fabricante en sus respectivas fichas técnicas. Las tablas muestran el consumo de energía estimado de los elementos del nodo del enrutador del sensor

y del enrutador del actuador, respectivamente. Una vida útil adicional de 16 a 17 horas para los enrutadores de sensor y de 12 a 13 horas para los enrutadores de actuador. Este valor se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Horas trabajo} = \frac{\text{capacidad de batería mAh}}{\text{consumo de corriente mA}}$$

- Es un paquete de energía recargable.
- Hay paneles solares que se pueden utilizar como fuente alternativa.
- Con salida USB 1A 5V, es ideal para alimentar el Arduino UNO.
- Hay un indicador para mostrar el nivel de la batería.

3.5.35 Esquema de Conexión Nodo Coordinador

Se muestra un diagrama esquemático de las conexiones de todos los elementos que componen el nodo coordinador. B. Módulo Arduino UNO, XBEE S2, pantalla LCD, SIM900 GSM / GPRS, ranura Micro SD:

- Los indicadores LED humedad y temperatura (ambos rojos) están conectados a los pines digitales Arduino D3 y D2, respectivamente, con una resistencia de 220 Ω.
- El LED indicador de recepción de datos (verde) está conectado al pin digital D4 de Arduino con una resistencia de 220Ω.
- El LED indicador de recepción de SMS (naranja) está conectado al puerto digital D5 de Arduino, con una resistencia de 220Ω.

Tabla 15. Muestra de conexión del módulo SD

Módulo microSD	Terminal Arduino UNO
CS	D10
SCK	D13
MOSI	D11
MISO	D12
VCC	5V
GND	GND

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

La conexión del Arduino con el módulo SIM900 GSM/GPRS se muestra en la Tabla:

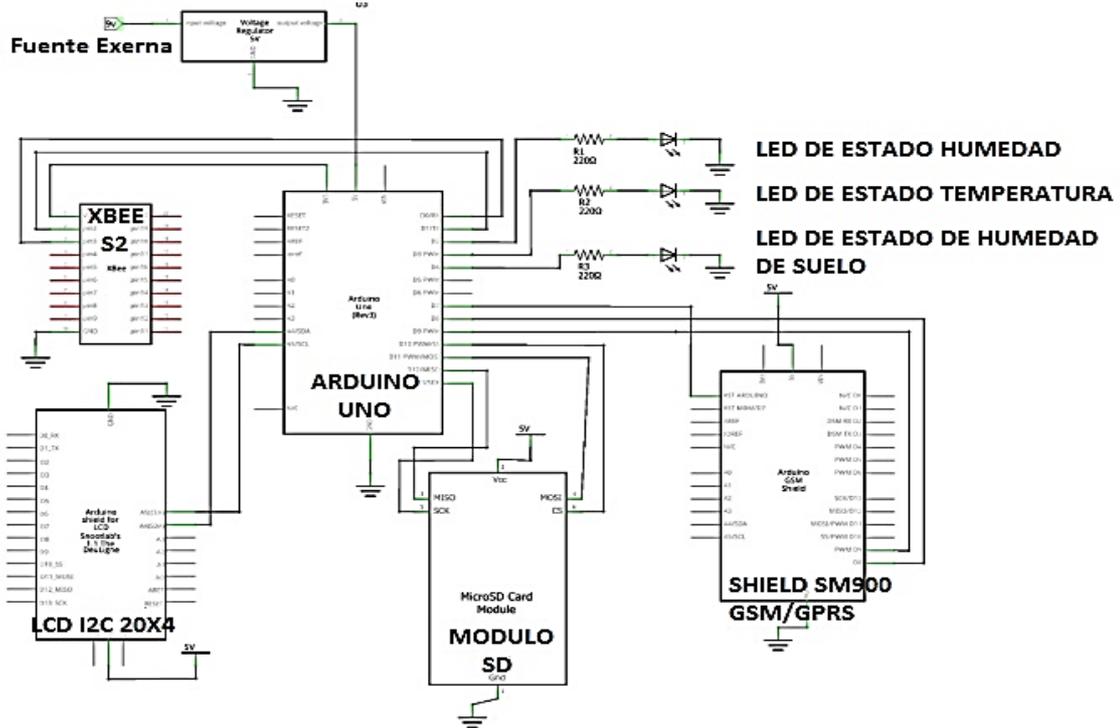
Tabla 16. Conexión de módulo GSM

Módulo SIM900 GSM/GPRS	Terminal Arduino UNO
Serial 7	D7
Serial 8	D8
Serial 9	D9
VCC	5V
GND	GND

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Para la recepción inalámbrica, se acopla el módulo XBee S2 con el Arduino utilizando la placa (shield), como se observa en la Imagen 17.

Imagen 17. Nodo Coordinador



Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.36 Consumo Corriente y Alimentación

Una vez que se haya definido los elementos del nodo coordinador, se debe calcular el consumo de energía que tiene todo el grupo de dispositivos. Esto es para seleccionar la fuente de alimentación adecuada para que el nodo funcione de manera estable y permanente. Para ello, se estiman estos valores para cada elemento en base a las propiedades declaradas por cada fabricante en sus respectivas fichas técnicas.

Tabla 17. Consumo de energía aproximado del nodo coordinador

Elemento	Cantidad	Consumo Corriente individual (mA)	Consumo Corriente total (mA)
Arduino UNO	1	46	46
XBee Shield Arduino	1	40	40
XBee S2	1	40	40
Pantalla LCD 20X4	1	200	200
SIM900 GSM/GPRS	1	50 ~ 450	50~450
Micro SD Arduino	1	100	100
Led Rojo	2	15	30
Led Verde	2	11.36	22.72
TOTAL			528~928 aprox.

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Para calcular la corriente consumida por cada LED, utilizamos los valores de referencia de voltaje para ese color, como se muestra en la Tabla 18. El valor muestra el consumo aproximado que varía entre 528 y 928mA. Se decidió utilizar un adaptador de 9V a 1A que se conecta a la red eléctrica como fuente de alimentación. Esto se debe a que el nodo coordinador siempre necesita una fuente de alimentación constante. Si se requieren largos tiempos de funcionamiento debido a un alto consumo, utilizar una fuente de alimentación externa o recargable es contraproducente.

3.5.37 Configuración de la Red Interna Tipo Malla

Una vez definidos los dispositivos y métodos a implementar, se procedió a través del software XCTU a configurar los parámetros que caracterizan a la red inalámbrica de sensores como una red mesh con el módulo inalámbrico XBee.

La red consta de nodos coordinadores que actúan como puertas de enlace entre las redes interna y externa (GSM/SPRS). Los dos nodos router/sensores son los encargados de recoger las medidas en puntos específicos de la infraestructura que se está implantando. Nodos de enrutador/actuadores ubicados cerca de tanques de almacenamiento de gas o fuentes que pueden tomar medidas de densidad y controlar la apertura y cierre de válvulas en estos tanques.

Se requiere comunicación entre todos los nodos de la red, como se muestra en la Tabla 19 enumera los parámetros necesarios para que el módulo XBee S2 en cada nodo funcione de manera óptima.

Tabla 18. Red ZigBee

Parámetro de Configuración	Coordinador	Router Actuador1	Router Sensor1	Router Sensor2
ID	2461	2461	2461	2461
SC	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
JV	-----	1	1	1
SH	0013A200	0013A200	0013A200	0013A200
SL	4102FD96	4102FD94	40CADF7B	40D94030
DH	0	0	0	0
DL	FFFF	0	0	0
NI	0	3	2	1
EE	1	1	1	1
NK	ABCD	-----	-----	-----
KY	1992	1992	1992	1992

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

3.5.38 Configuración del Nodo Coordinador

El código de programación del nodo coordinador consiste en Arduino IDE versión 1.8.19. A continuación se muestra el diagrama de flujo del programa principal, las funciones que se utilizarán y la biblioteca.

3.5.39 Diagrama de Flujo del Programa Principal

El diagrama de flujo de la Imagen 20 muestra el comportamiento general de un nodo coordinador. La explicación se explica en detalle a continuación.

Ciclo de inicio

- Se declaran la biblioteca y la función a utilizar.
- Declarar e inicializar constantes y variables globales.
- Se determina la entrada y salida del módulo Arduino UNO.
- Se configuran las velocidades de transmisión del módulo Arduino UNO, Xbee S2 y SIM900GSM/GPRS.
- Se iniciará la pantalla LCD y los módulos MicroSD y SIM900GSM/GPRS.
- Se muestra un mensaje de inicialización del dispositivo en la pantalla LCD.

Ciclo repetición

Las variables locales se inicializan. Primero, se crea una instrucción que puede indicar si se ha recibido un paquete enviado por el nodo sensor a través del módulo XBeeS2. Si no se reciben datos, no se puede realizar ningún otro procesamiento. Dado que el marco de datos viaja a través de la red en forma de matriz, necesitamos crear un proceso que reconozca el identificador de fin de marco para el etiquetado posterior.

Ahora los dos identificadores se evalúan en cada marco de datos y puede conocer los niveles de humedad y temperatura de cada nodo sensor. Los valores de estos parámetros indican si se debe enviar una alerta al usuario por SMS a través del módulo GSM.

Si el sistema detecta un nivel peligroso de temperatura y humedad debido a un error físico en el sensor, se agrega un tiempo permisible (2 segundos) al proceso de evaluación del identificador para evitar falsas alarmas. Cuando se excede el tiempo de gracia determinado por el contador del identificador, se llaman dos funciones: sms () y sms1 () se crean para enviar el estado de humedad y temperatura del nodo detector al usuario por mensaje de texto, respectivamente.

3.5.40 Configuración del Nodo Router Sensor y Router Actuador

El código del nodo coordinador utilizó seis bibliotecas asociadas. El funcionamiento del dispositivo emparejado, estos son:

SoftwareSerial.h: Permite que el módulo Arduino UNO se comunique en serie con el módulo SIM900GSM/GPRS a través de los terminales D7 y D8. Porque los puertos seriales tradicionales de Arduino (terminales D0 y D1) están conectados al módulo XBee S2.

String.h: permite utilizar matrices al recibir y guardar tramas de datos.

SD.h: Le permite leer y escribir datos en la tarjeta microSD conectada al módulo Arduino. También funciona con tarjetas formateadas con los sistemas de archivos FAT16 y FAT32.

SPI.h: permite que la placa Arduino se comunique con el módulo MicroSD utilizando el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface).

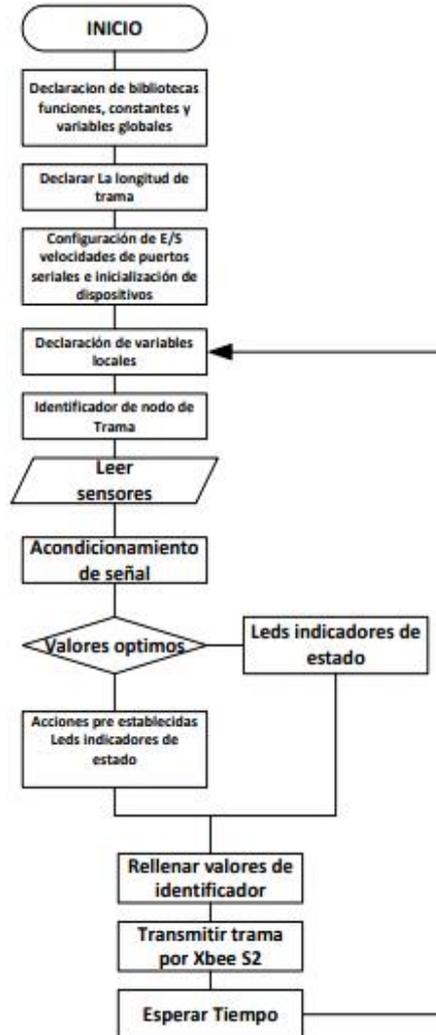
Wire.h: Permite que la placa Arduino se comunique con la pantalla LCD mediante el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit).

LiquidCrystal_I2C.h: Basado en el chip I2C PCF8574, permite el control y configuración de la pantalla de cristal líquido.

3.5.41 Diagrama de flujo en el programa principal

El diagrama de flujo de la Imagen 19 muestra el funcionamiento general de los nodos del enrutador de sensores y los enrutadores de actuadores. Los detalles de la explicación se muestran a continuación.

Imagen 18. Flujograma Principal



Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Ciclo de inicio:

- Se declaran la biblioteca y la función a utilizar.
- Declarar e inicializar constantes y variables globales.
- Se especifica la longitud del marco de datos (11 elementos)
- Se determina la entrada y salida del módulo Arduino UNO.
- Se configura la velocidad de transmisión de los módulos Arduino UNO y XBee S2.

Ciclo repetición

- Las variables locales se inicializan
- El primer elemento de la trama se llena con el identificador NI
- Se crean las funciones get_Temp() y get_Hume(). Estas funciones toman las lecturas del sensor y las convierten en unidades de medida a través de las ecuaciones estimadas. Estas características son las mismas tanto para los nodos de enrutador de sensor como para los nodos de enrutador de actuador.

- Con base en los valores de exposición determinados en el Capítulo 2, los niveles de detección del nodo sensor se establecen como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 19. Datos de trama

	Temperatura	Humedad	Led indicador	Valor BG de trama	Valor Identificador BC de trama
Estable	0 - 500	0 – 200	Verde	0	0
Precaución	500 - 1500	200 - 700	Amarillo	2	2
Peligro	> 1500	> 700	Rojo	1	1

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Los valores de temperatura humedad se evalúan por estar en una zona de peligro de acuerdo con la Tabla 20. Se cambia el valor del identificador de nivel en la trama para que lo reciba el coordinador, y se activan las alarmas visuales y auditivas de acuerdo con el nodo detector. En el nodo del enrutador del actuador, la válvula solenoide se activa para bloquear el flujo de gas desde el tanque de almacenamiento hasta que el nivel de gas se estabilice.

- Las medidas normalizadas por las funciones `get_Tem()` y `get_Hum()` se utilizan para ingresar campos en la trama de datos enviada por el puerto serial del módulo XBee S2. La longitud y los parámetros de esta trama de información son los mismos para todos los nodos de la red.
- Los valores de temperatura humedad se evalúan por estar en una zona de peligro de acuerdo con la Tabla 20. Se cambia el valor del identificador de nivel en la trama para que lo reciba el coordinador, y se activan las alarmas visuales y auditivas de acuerdo con el nodo detector. En el nodo del enrutador del actuador, la válvula solenoide se activa para bloquear el flujo de gas desde el tanque de almacenamiento hasta que el nivel de gas se estabilice.
- Las medidas normalizadas por las funciones `get_Tem()` y `get_Hum()` se utilizan para ingresar campos en la trama de datos enviada por el puerto serial del módulo XBee S2. La longitud y los parámetros de esta trama de información son los mismos para todos los nodos de la red.

3.5.42 Funciones que Componen el Programa Principal

Los códigos de nodo para enrutadores de sensores y enrutadores de actuadores contienen características específicas que se describen a continuación.

get_Tem(): Ejecutado en ciclo repetitivo, toma la lectura del sensor LM35 y devuelve el valor en ppm (partes por millón).

get_Hum(): Obtiene la lectura del sensor FC-28 y devuelve el valor en ppm (partes por millón) de humedad.

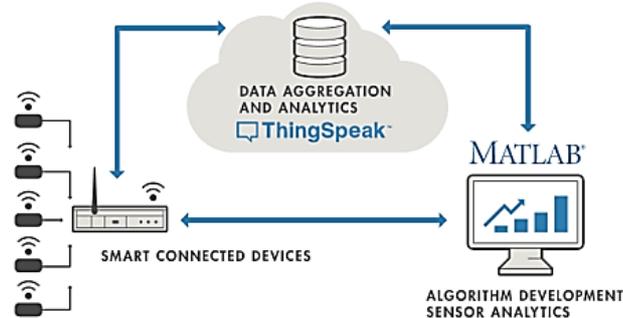
intermitente (): Habilita el parpadeo del LED cada vez que se envía una trama de datos. Esto permite que el dispositivo vea si los datos capturados por el sensor están siendo enviados.

Solo se usó una biblioteca en el nodo del enrutador del actuador llamado `Servo.h`, que facilita el control de la válvula solenoide que consiste en el motor del actuador.

3.5.43 Plataforma en la Nube – THINGSPEAK

THINGSPEAK es una plataforma de aplicaciones abierta con tecnología de análisis de MATLAB diseñada para permitir que las personas se conecten con las cosas. Es una plataforma de código abierto con API, caracterizada por almacenar y recuperar datos de objetos utilizando el protocolo HTTP a través de Internet o LAN (Red de área local) [17].

Imagen 19. Estructura de datos



Es una plataforma basada en Ruby on Rails 3.0 (RoR) y un marco de aplicación web de código abierto basado en Ruby cuya arquitectura se basa en Model View Controller (MVC). Se caracteriza por una programación más sencilla de aplicaciones reales, menos código para escribir y una configuración mucho más sencilla que otros marcos. La aplicación incluye todo lo que necesitas para empezar a trabajar desde una aplicación web que te permite gestionar usuarios, claves API, gestión de canales y mapeos [17].

3.5.44 API

Un punto clave al desarrollar un proyecto es encontrar API disponibles para que los desarrolladores tengan los mecanismos que necesitan para desarrollar sus aplicaciones. En este caso, THINGSPEAK tiene una API disponible en GitHub que puedes descargar a tu propio servidor. Es completamente abierto, por lo que incluso puede modificar el código fuente original y aportar nuevas funciones a la comunidad. Este es un principio fundamental de las plataformas de código abierto [17].

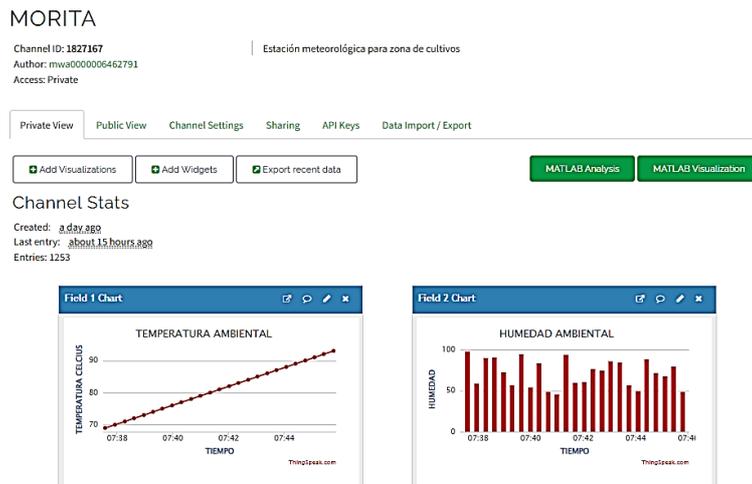
3.5.45 Canal

La forma en que esta plataforma almacena y publica datos es a través de “canales” (channels). Es muy fácil de crear, solo unos pocos clics y un conjunto de datos para utilizar sin mayor complicación. Nuevamente, cuando te sumerjas en esta plataforma, encontrarás que su propósito es facilitar tu trabajo [17].

3.5.46 Plugins

También puede desarrollar complementos para ampliar la funcionalidad del sitio web. Estos brindan la oportunidad de crear aplicaciones de forma nativa en la plataforma THINGSPEAK. Soporta HTML, CSS y JavaScript como lenguajes de programación. Al igual que los canales, los complementos pueden ser públicos o privados según sea necesario. Por último, hay que señalar que ofrece la posibilidad de utilizar Google Gauge Visualization. Esto ofrece la posibilidad de visualizar los datos de una manera rápida y fácil de usar con un nivel de personalización muy amplio [17].

Imagen 20. Gráfico de Campo en la plataforma THINGSPEAK



3.5.47 Claves proporcionadas por la plataforma THINGSPEAK

Cuando se crean cuentas y canales en THINGSPEAK, la propia plataforma genera automáticamente un identificador (ID de canal) y una clave (clave API) para cada canal. Estos datos son utilizados por el código Arduino para establecer una conexión con la plataforma. En la imagen a continuación, puede ver el identificador del canal "DHT22" y tanto la clave de lectura (clave API de lectura) como la clave de escritura (clave API de escritura) que le permiten leer o escribir datos en el canal.

Visualización de datos para cada canal: Hay dos opciones diferentes para ver los datos de temperatura y humedad enviados desde el NodeMCU a THINGSPEAK: privado o público. En este caso, se optó por vistas públicas para facilitar el acceso a los datos.

Se agregaron dos visualizadores al canal DHT22 a través de la pestaña Agregar Visualizaciones. El primero muestra los últimos 10 datos de temperatura recibidos en el canal, la segunda muestra los últimos 10 datos de humedad.

3.5.48 Desarrollo de Aplicaciones Móviles

Esta subsección describe cómo se desarrollaron las aplicaciones de Android utilizando el entorno MIT App Inventor. El propósito de crear la aplicación móvil es observar los datos de temperatura y humedad leídos por el sensor y actuar sobre el LED encendiéndolo o apagándolo de forma remota.

Como se ha explicado anteriormente, el uso de LEDs tiene como finalidad demostrar, en un caso real, que se puede actuar sobre un invernadero desde una aplicación móvil y encenderla o apagarla para controlar la temperatura del entorno de control.

La aplicación de Android que creé tiene dos pantallas, y la configuración y creación de cada una se describe a continuación.

La primera pantalla consta de dos indicadores que muestran la temperatura y la humedad actual y un indicador azul que lo mantiene informado si el LED está encendido o apagado. Hay tres botones en la parte inferior de él, dos de los cuales se usan para encender y apagar los LED, y el tercer botón abre una segunda pantalla llamada "VER GRÁFICOS", que muestra los datos de los últimos 10 o más. Visto en modo gráfico. La lectura del sensor para mostrar.

Dado que es importante aumentar la temperatura del ambiente, se agrega la posibilidad de permitir al usuario cambiar la temperatura del termostato, acercando la aplicación a la

situación real. El usuario del mismo decide a qué temperatura configurar el termostato, presiona el botón OK y el valor se envía a THINGSPEAK, donde se procesa para determinar si se enciende o apaga el LED.

Se agregaron ViewerWebs para mostrar la temperatura actual que la pantalla, los indicadores LED están encendidos o apagados y el termostato está configurado. Estos son componentes incluidos en MIT App Inventor que se pueden usar para mostrar páginas web. El código de bloque correspondiente se muestra en la imagen a continuación, y puede ver que la URL de gráficos de la plataforma THINGSPEAK correspondiente se ha agregado a cada VisorWeb. De esta manera, puede ver exactamente lo mismo desde la plataforma y la aplicación.

Se agregaron dos botones "ENCENDIDO" y "APAGADO" para encender y apagar el LED. El código de bloque correspondiente muestra que se envía 50 o 0 al campo 1 del canal "Control del termostato" de la plataforma THINGSPEAK, según el botón que se presionó.

Se debe agregar un componente web (Web 1) para realizar esta acción. Este es un componente oculto que puede manejar solicitudes HTTP. o campo llama a esta Web 1 asignó la URL del canal de THINGSPEAK para escribir

El botón VER GRÁFICOS tiene la capacidad de abrir una segunda pantalla (pantalla 2) donde puede ver los datos en forma de gráfico a lo largo del tiempo. La siguiente figura muestra los bloques correspondientes.

Use un TextField y un botón llamado "OK" para ingresar los datos de temperatura del termostato en la pantalla y enviarlos a THINGSPEAK.

Los datos introducidos se envían a la plataforma pulsando un botón y yendo a la Web 1. A Web 1 se le asigna la URL del canal de THINGSPEAK en el que debe escribirse este valor.

3.5.49 THINGSPEAK

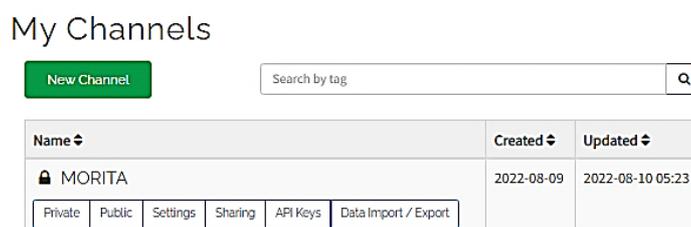
Esp8266 NODEMCU establece comunicación con la plataforma THINGSPEAK enviado los valores medidos de los sensores, estados de las entradas digitales esta plataforma se almacena todos los datos que envía NODEMCU. A la plataforma THINGSPEAK se puede acceder desde internet mediante un usuario y clave previamente creada, para el presente caso en este proyecto como la plataforma THINGSPEAK está en modo gratuito solo permite el uso solo de 8 campos, por tal motivo se creó 1 canales para manejar los 3 campos que se necesita en este proyecto.

Una vez creado estos canales y configurada la plataforma para la recepción de datos, se procede a realizar la captación e identificación de los diferentes datos enviados los cuales se muestra los gráficos de los sensores.

3.5.50 Plataforma THINGSPEAK para el Proyecto.

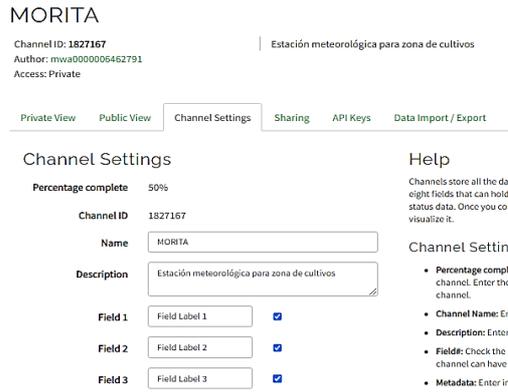
Se muestra la pantalla de creación del canal en la plataforma THINGSPEAK donde se visualiza que se ha creado un canal "MORITA".

Imagen 21. Canal creado en la plataforma THINGSPEAK



En la Imagen 22 se muestra la habilitación de los campos a utilizar en el canal “MORITA”

Imagen 22. Campos por utilizar en el canal “MORITA”



En la imagen 23 se muestra los ID y APIKEY, para utilizarlos en los códigos de programa de los módulos basados en el NODEMCU para que estos establezcan conexión con THINGSPEAK.

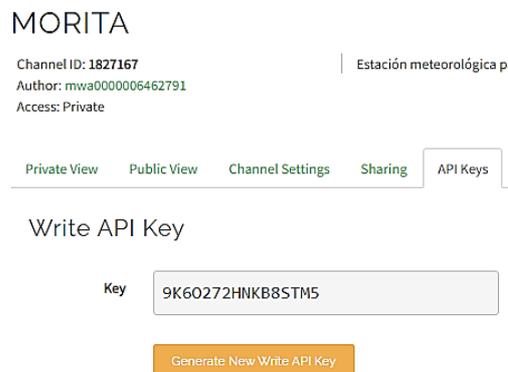


Imagen 23. ID y APIKEY para THINGSPEAK

En la imagen 24 se muestra las gráficas de la plataforma THINGSPEAK de los sensores de humedad, temperatura.

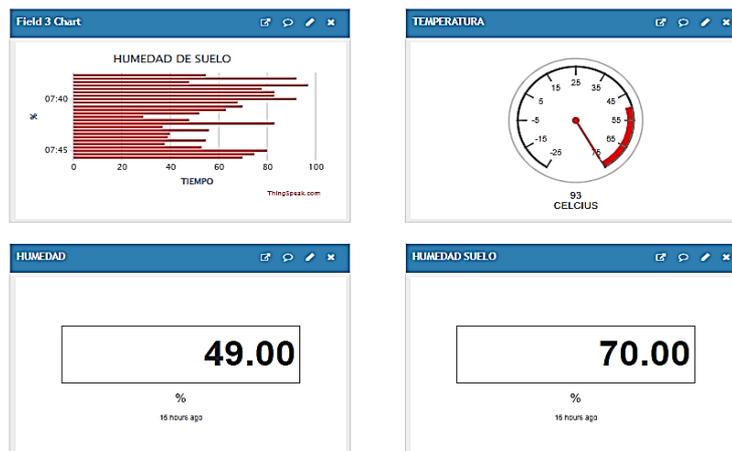


Imagen 24. Las gráficas de la plataforma THINGSPEAK de los sensores de humedad, temperatura.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Introducción

Este capítulo presenta las pruebas de rendimiento y conectividad de la red inalámbrica, los resultados obtenidos al ejecutar el software propietario del módulo de comunicación inalámbrica y una comparación de las mediciones de temperatura y humedad ambiental (como la humedad del suelo) entre sensor, obteniendo así resultados óptimos para determinar si es o no una buena producción.

Se logró tener un dispositivo profesional que evalúa los parámetros de cada nodo que compone la red, a través de una situación controlada, finalmente implementada a través de una infraestructura apta para la agricultura.

4.2 Comparación con datasheet de sensores (Sensor de Humedad)

La primera prueba que se realiza para determinar si el sistema está correctamente calibrado es listar las lecturas tomadas por los sensores en la hoja de datos de cada sensor (en este caso el sensor DHT11 FC28 LM35), es comparar con los datos. Compara los parámetros de la resistividad del sensor (R_s/R_o) y la concentración de agua en el ambiente (PPM). La prueba de medición

En el nodo sensor se realiza en un entorno cerrado y los resultados obtenidos se comparan con los datos proporcionados por la hoja de datos del sensor de la sonda de neutrones.

Como se muestra en la Tabla, se creó un ambiente de humedad controlada y se tomaron 9 muestras de lectura en condiciones reales cercanas a los ideales propuestos del sensor. Dado que la precisión del sensor en condiciones ideales es de $\pm 5\%$ de la lectura, esta medición garantiza que el sensor no contenga más de $\pm 5\%$ del error medido en condiciones reales.

Tabla 20. Medición de sensor de humedad

PROF(M)	HUMEDAD SUELO	SENSOR CALIBRADO FC28	ERROR ABSOLUTO
30	68,37	68,34	0,03
20	67,25	67,22	0,03
15	68,63	68,61	0,02
12.5	66,87	66,85	0,02
10	64,15	64,15	0
7.5	59,8	59,78	0,02
5	54,36	54,35	0,01
2.5	42,55	42,54	0,01
0	29.12	29.12	0,01

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Tabla 21. Resumen del procesamiento de los casos

	TIPO - HUMEDAD	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
HUMEDAD	REAL	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%
	IDEAL	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%

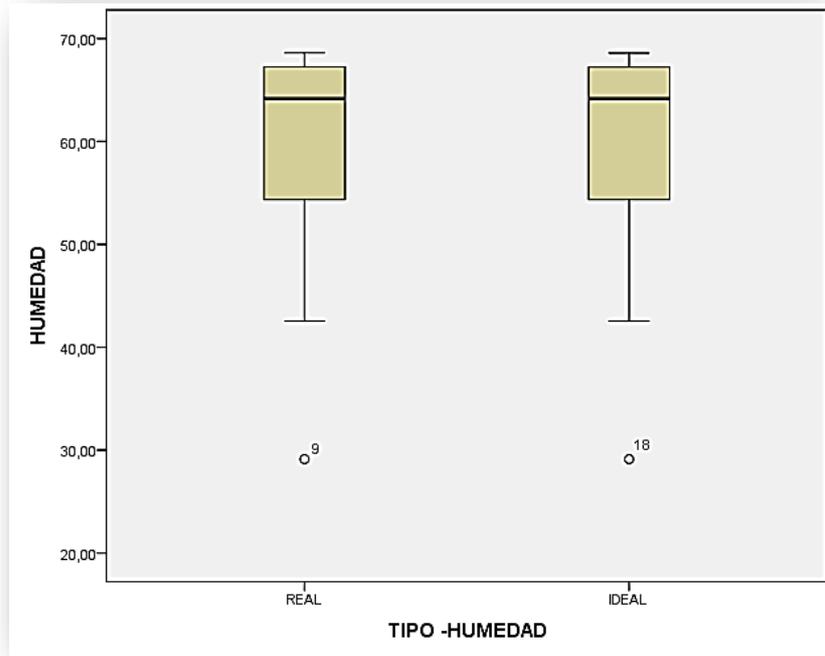


Imagen 25. Gráfico de caja - humedad

4.2.1 Análisis:

Según se observa en la imagen 25 el comportamiento de los datos de humedad con los sensores reales tiene una dispersión igual que los ideales.

Los resultados indican que el sistema está realizando sus operaciones con valores muy cercanos al nivel adecuado debido a que el sensor no incorpora un error absoluto mayor al 5% del valor medido en condiciones reales.

Actualmente se están realizando pruebas con el sensor de temperatura lm35. Los datos recopilados le indicarán si el sensor está funcionando con los valores adecuados recomendados.

La tabla 20 muestra una comparación de las lecturas del sensor con sus respectivas hojas de datos. Para obtener tales lecturas durante la prueba del sensor se utilizó un recipiente de vidrio lleno de un líquido caliente que puede aumentar la temperatura ambiente.

4.2.2 Prueba de Hipótesis (Variable Humedad)

4.2.3 Hipótesis Nula (H_0)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

4.2.4 Resultados

Tabla 22. Estadísticos de grupo

	TIPO - HUMEDAD	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
HUMEDAD	REAL	9	57,9000	13,74660	4,58220
	IDEAL	9	57,8844	13,73899	4,57966

Tabla 23. Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
HUMEDAD	Se han asumido varianzas iguales	,000	,999	,002	16	,998	,01556	6,47842	-13,71807	13,74918
	No se han asumido varianzas iguales			,002	16,000	,998	,01556	6,47842	-13,71807	13,74918

Como $p\text{-valor} = 0,998 > 0,05$ entonces se acepta H_0 es decir que la media de la humedad real es estadísticamente igual a la media de la humedad ideal.

4.2.5 Estimación Curvilínea Variable Humedad

Tabla 24. Descripción del modelo

Nombre del modelo	MOD_1	
Variable dependiente	1	HI
Ecuación	1	Lineal
	2	Cuadrático
Variable independiente	HR	
Constante	Incluidos	
Variable cuyos valores etiquetan las observaciones en los gráficos	Sin especificar	
Tolerancia para la entrada de términos en ecuaciones	,0001	

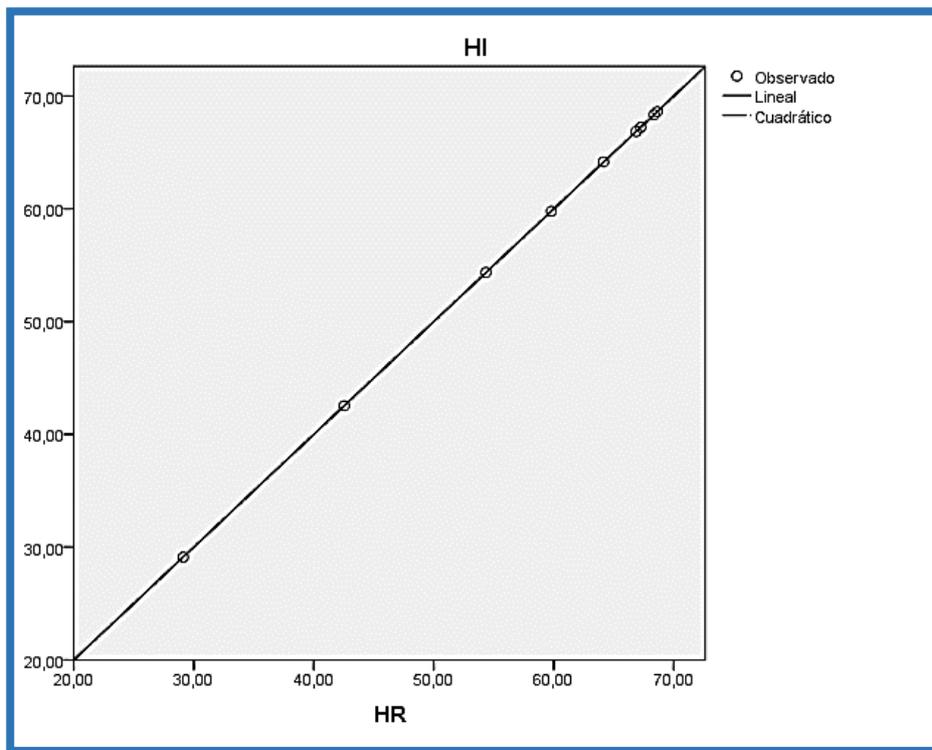
Tabla 25. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros

Variable dependiente: HI

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	1,000	18942551,015	1	7	,000	,017	,999	
Cuadrático	1,000	8402868,525	2	6	,000	-,008	1,001	-1,058E-005

La variable independiente es HR.

Imagen 26. Correlación de los modelos lineal y cuadrático



En la imagen 26 se puede observar que los modelos están fuertemente correlacionados.

4.3 Comparación con datasheet de sensores (Sensor de Temperatura)

Tabla 26. Tabla de mediciones de Temperatura

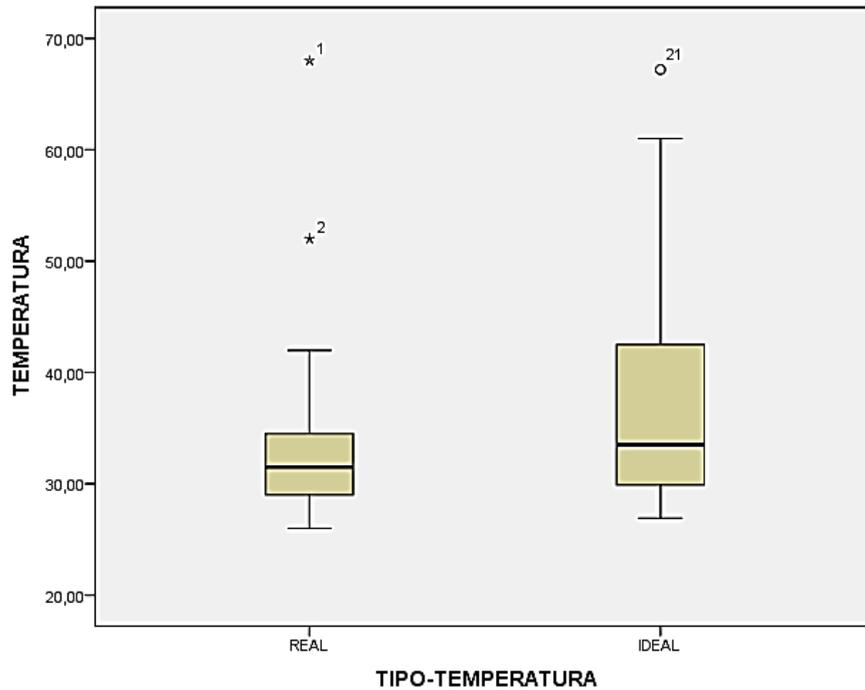
NUMERO DE MEDICIONES	SENSOR DE TEMPERATURA	SENSOR CALIBRADO LM35	ERROR ABSOLUTO
1	68	67,2	0,8
2	52	61	9
3	42	53,9	11,9
4	37	48,2	11,2
5	35	44,1	9,1
6	33	40,9	7,9
5	34	38,6	4,6
8	33	36,7	3,7
9	32	35	3,2
10	31	34	3
11	32	33	1
12	31	32,1	1,1
13	30	31,4	1,4
14	29	30,2	1,2
15	29	29,9	0,9
16	28	28,8	0,8
17	29	29,9	0,9
18	27	27,5	0,5
19	26	27,2	1,2
20	26	26,9	0,9

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Tabla 27. Resumen del procesamiento de los casos

	TIPO - TEMPERAT URA	Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaj e	N	Porcentaj e	N	Porcentaje
TEMPERAT URA	REAL	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%
	IDEAL	20	100,0%	0	0,0%	20	100,0%

Imagen 27. Gráfico de caja -temperatura



4.3.1 Análisis:

Según se observa en la imagen 27 el comportamiento de los datos de temperatura con los sensores reales se puede notar que la precisión del sensor en condiciones ideales es del 5% del valor medido. Los resultados mostrados en la tabla 26 indican que el sensor calibrado no incorpora un valor absoluto mayor que del valor medido en condiciones reales, en tanto en el parámetro relación las lecturas de los valores reales con valores ideales hacen que el sistema se acerque al nivel adecuado teniendo en cuenta el error absoluto bajo.

El sistema muestra que las lecturas en condiciones reales están cerca del valor de las lecturas ideales, mostrando una ligera variación.

4.3.2 Prueba de Hipótesis (Variable Temperatura)

4.3.2.1 Hipótesis Nula (H_0)

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

4.3.4 Resultados

Tabla 28. Estadísticas de grupo

	TIPO-TEMPERATURA	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
TEMPERATURA	REAL	20	34,2000	9,96098	2,22734
	IDEAL	20	37,8250	11,56382	2,58575

Tabla 29. Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	1,269	,267	-1,062	38	,295	-3,62500	3,41279	10,53384	3,28384
No se asumen varianzas iguales			-1,062	37,184	,295	-3,62500	3,41279	10,53882	3,28882

Como $p\text{-valor} = 0,295 > 0,05$ entonces se acepta H_0 es decir que la media de la temperatura real es estadísticamente igual a la media de la temperatura ideal.

4.3.5 Estimación Curvilínea Variable Temperatura

Tabla 30. Descripción del modelo

Nombre de modelo	MOD_1	
Variable dependiente	1	TI
Ecuación	1	Lineal
	2	Cuadrático
Variable independiente	TR	
Constante	Incluido	
Variable cuyos valores etiquetan las observaciones en los gráficos	Sin especificar	
Tolerancia para entrar términos en ecuaciones	,0001	

Tabla 31. Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: TI

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	,891	147,091	1	18	,000	,349	1,096	
Cuadrático	,972	298,294	2	17	,000	-48,769	3,516	-,027

La variable independiente es TR.

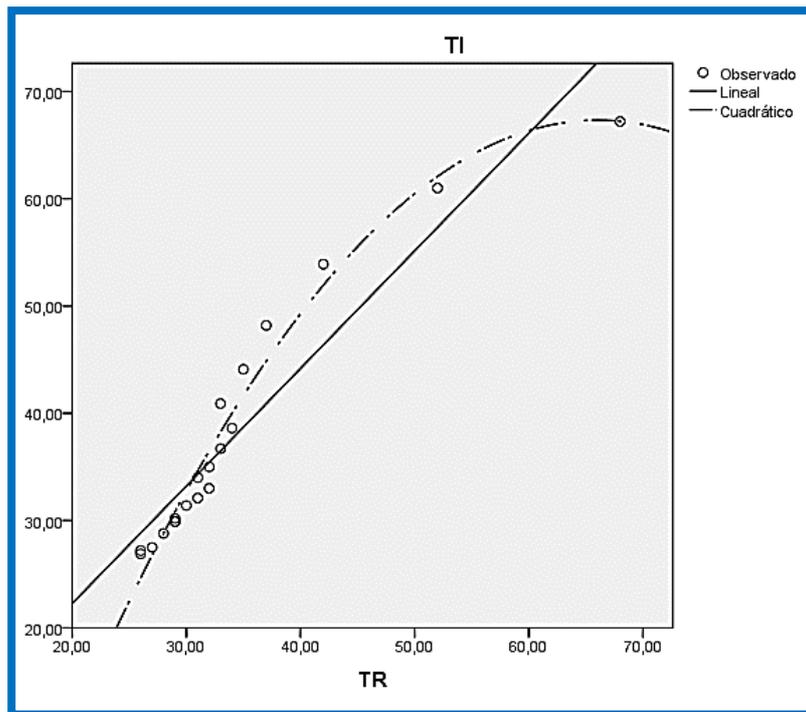


Imagen 28. Correlación de los modelos lineal y cuadrático

En la imagen 28 se puede observar que los modelos están correlacionados y que el comportamiento es poco variable, los valores medidos hacen que el sistema se acerque al nivel adecuado teniendo en cuenta el error absoluto muy bajo.

4.4 Evaluación de Funcionamiento de la Red Inalámbrica de Sensores

Una vez verificado el buen funcionamiento de los sensores de DHT11 Y FC28, es hora de evaluar el comportamiento de la red inalámbrica de sensores, para eso se realizan pruebas usando el software de desarrollo de los Módulos XBee llamado XCTU Configuration and Test Utility (Xbee Software Configuration and Test Utility (Utilidad de prueba y configuración del software Xbee, por sus siglas en inglés).

Este software es una aplicación multiplataforma gratuita que le permite administrar módulos inalámbricos a través de una interfaz gráfica interactiva. Algunas de sus características incluyen herramientas integradas que facilitan la conexión, configuración y prueba de módulos de RF.

Para realizar la prueba de red se utilizó un nodo despacho, un nodo router sensor y un nodo router actuador, distribuidos en la planta baja de una casa de 154 m², como se muestra.

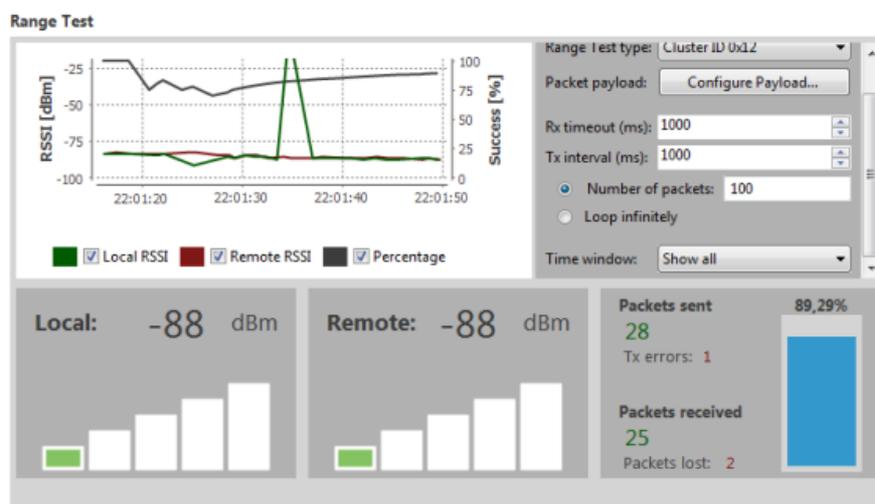
Una vez que cada módulo evaluado ha sido configurado y conectado, se genera un gráfico de la red a través del software XCTU.

A continuación, se realiza una prueba de cobertura de módulos, que se utiliza para evaluar el alcance y la calidad del enlace entre módulos en la misma red. Primero, se seleccionó la conexión entre el nodo despachador y el nodo del enrutador del actuador (Id = 4). Están separados 5 m en línea recta.

Tener el nivel de potencia recibido (RSSI) tanto del despachador como del nodo del enrutador oscilando a -88 dBm, que es moderado de acuerdo con las mismas especificaciones de software y considerando las pérdidas a través de la pared en la unidad.

Esto nos da una tasa de éxito del 89,29 % en la transmisión y recepción de datos, como se muestra:

Imagen 29. XCTU potencia de transmisión de XBee

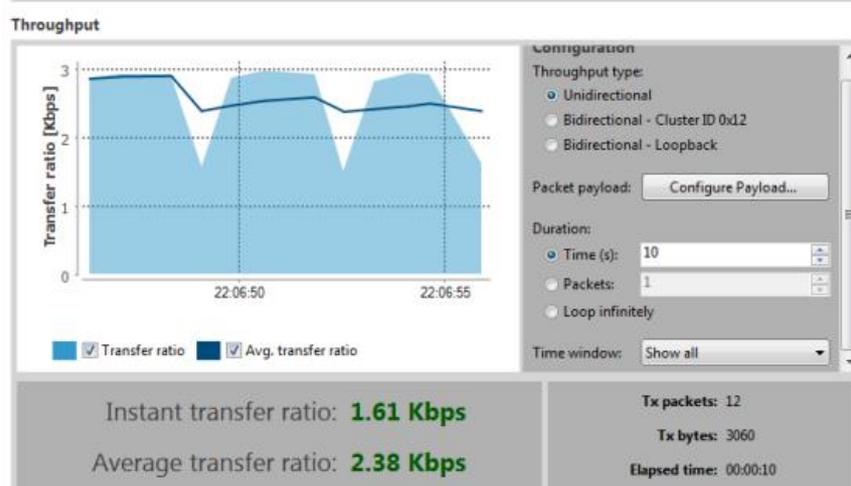


Fuente: (XCTU,2022)

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

La siguiente es una prueba de rendimiento, que se utiliza para analizar la tasa de transferencia de un módulo a otro en la misma red. Como resultado, se obtuvo una tasa de transferencia instantánea de 1.61 y una tasa de transferencia promedio de 2.38 kbps.

Imagen 30. Velocidad de transmisión



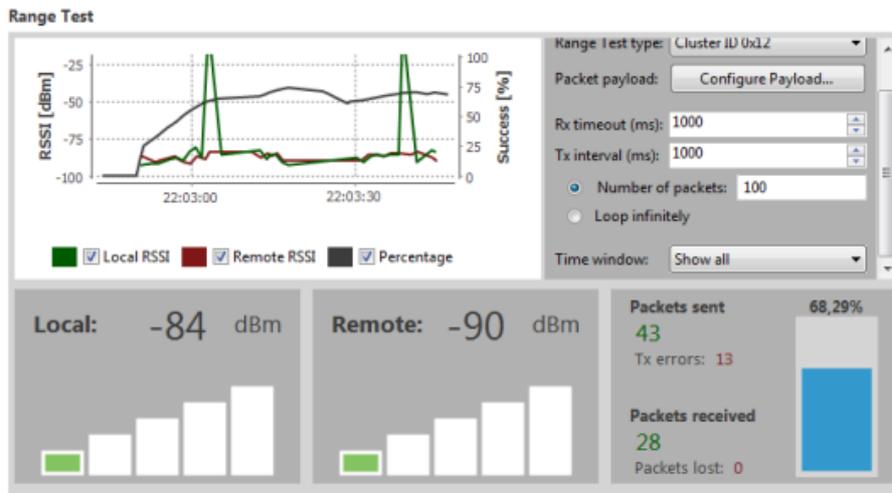
Fuente: (XCTU,2022)

Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Ahora procedemos a probar el rango entre el coordinador y el nodo del enrutador del sensor. La distancia en línea recta entre los dos dispositivos de 7m, fueron por lo tanto los siguientes resultados:

El nivel de potencia recibida en el coordinador de -84 dBm y en el actuador del router es de -90 dBm, nuevamente a pesar de las pérdidas por la penetración de los muros de infraestructura, hay un nivel aceptable en la transmisión y la recepción de con un 68.29% . A estas distancias los dispositivos lograron establecer una conexión entre ellos, a pesar de la presencia de la casa.

Imagen 31. Distancias de transmisión



Elaborado por: Teresa Alejandra Mora Mera

Una vez realizadas las pruebas de rango y de nodos rendimiento se determinó la cobertura que puede alcanzar cada uno de los nodos de la infraestructura.

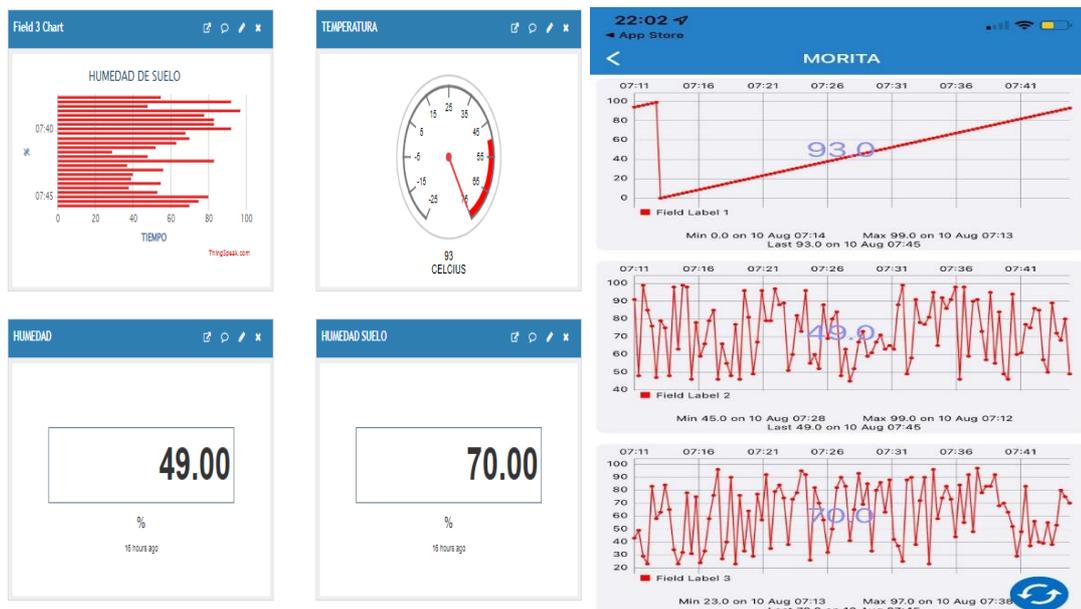
Los dispositivos han logrado establecer una conexión con los otros, a pesar de la presencia de las paredes y paredes de la casa.

Teniendo en cuenta que las antenas de los módulos S2 radian omnidireccionalmente, se calculó un área de cobertura de acuerdo con las distancias previamente obtenidas en cada dispositivo. Se calculó un valor de cobertura promedio para generalizar el rango de conexión de nodos independientemente de su ubicación en la infraestructura, y se obtuvo un valor de $42.7m^2$, estimando un error de $2m^2$.

4.5 Resultados de la Plataforma THINGSPEAK para el Proyecto.

Al realizar la aplicación en esta plataforma, se obtuvo resultados satisfactorios los cuales nos permiten visualizar y controlar nuestros dispositivos desde computadores y equipos móviles teniendo soporte en la plataforma Android e iOS. En la Figura se muestra las gráficas de la plataforma THINGSPEAK de los sensores de humedad y temperatura.

Imagen 32. Funcionamiento de los Sensores en la plataforma THINGSPEAK.



4.6 Evaluación de Calidad de Producción

Toda producción debe de ir acompañada de una evaluación de calidad, éstas nos permiten conocer los diferentes errores suscitados en los diferentes entornos de producción agrícola, entre estos existen diferentes factores los cuales facilitan el estudio Relevancia, Exactitud, Precisión y Oportunidad.

Para realizar el estudio de la calidad de producción agrícola se realizó una cubicación de iguales dimensiones del área de estudio, esta área está compuesta por 10 metros cuadrados la cual está controlada por el sistema de control de factores abióticos, teniendo en cuenta que el lote posee un área de 100 metros cuadrados y estará dividida o seccionada para su estudio en sub-áreas de estudio de iguales dimensiones que nuestra área de control.

Para obtener un resultado favorable y aplicable a dimensiones mucho más extensas aplicaremos estadística la cual nos permitirá que este proyecto sea aplicable a diferentes áreas de producción a mayor y menor escala, para ello realizaremos un muestreo según la Probabilidad Proporcional al Tamaño.

El tamaño y disposición de las parcelas de estudio y comparación poseen diferente disposición, las cuales se encuentran constituidas por 24 parcelas de áreas similares de alrededor de 40 metros cuadrados. A continuación, se detalla la disposición y las dimensiones establecida en el área de estudio.

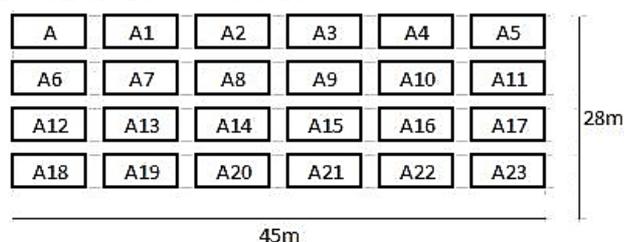


Imagen 33. Disposición y dimensiones establecidas en el área de estudio.

4.6.1 Dimensiones de la Parcela

Las parcelas están divididas en áreas iguales y conformadas por áreas las cuales son utilizadas para surcos y áreas para caminos y separación entre bloques o segmentos de cultivo.

4.6.2 Características del Área de Estudio

- Ancho de parcela: 4,0 m.
- Largo de parcela: 10 m.
- Área total de la parcela: 40 m^2 .
- Número de plantas por parcela 100 plantas.
- Distancia entre plantas 0,40 m.
- Distancia entre surcos 0,80 m.
- Separación entre bloques 1,0 m.
- Área total de parcelas 1 040 m.
- Área total caminos 197,50 m.
- Área total del ensayo 1 237,50 m.
- Área de parcela neta 18,40 m.

La disposición del área de estudio abarca 100 plantas las cuales conformaran las diferentes parcelas tanto para el estudio como para la comparación de la cosecha.

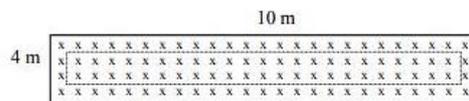


Imagen 34. Área de estudio

4.6.3 Tamaño de la Muestra por Probabilidad Proporcional

Este método, conocido como PPSS, también se conoce como al igual que (modelo de Poisson), el método PPSS utiliza la información presente en cada tamaño de variable. Unidad estadística (ha de tierra, facturación, ingresos, producción. Unidad Se seleccionan con diferentes probabilidades dependiendo de su tamaño.

$$n = \frac{Z^2(P')(Q)}{D^2}$$

- n= Tamaño de la muestra buscada
- Z=parámetro estadístico
- NC=Nivel de confianza
- P'=Proporción
- Q=(1-P)
- D=Error de estimación máximo aceptado

P'=10%= 0.10

NC=95%

D=0.02

Q=0.90

Z=1.645

$$n = \frac{(1.645)^2(0.10)(0.90)}{0.02^2}$$

$$n = 3,6864$$

El número de muestra obtenido mediante la fórmula es de 4 muestras aleatorias las cuales serán tomadas del mismo lote, y comparadas con el área de estudio. Las características por evaluar en las muestras de cultivo con la de área de estudio será la evaluación de la cosecha.

4.6.4 Peso Total por hectárea

Es el valor estimado llevado a hectárea con relación al valor total hallado para cada unidad experimental. Para cada sección de cultivo se ha considerado el producto final cosechado.

$$Rdto(Kg / ha) = \frac{Peso \times Parcela \text{ Kg}}{Area \text{ de la parcela } m^2} \times 1000m^2$$

4.6.5 Rendimiento de Tubérculo por Categoría

Los datos se obtuvieron de cada surco central y se clasificaron según las categorías establecidas por el CIP. Esta clasificación se basó en el peso de cada bulbo.

Tabla 32. Clasificación del peso de cada bulbo

CATEGORIA	PESO Gr
EXTRA	>=266
SELECTA	135-265
COMERCIAL	86-134
DOMESTICA	37-85
BABY	21-36
OTROS	<20

4.6.6 Número de Tubérculos por Planta

En el momento de la cosecha, se contó el número de tubérculos por planta, registrando a 10 plantas tomadas al azar dentro de la parcela y comparada con la parcela de estudio.

4.6.7 Peso de Tubérculos por Planta

Al momento de la cosecha, con la ayuda de una balanza de reloj se pesó los tubérculos cosechados por planta, efectuando la lectura a 10 plantas tomadas al azar dentro de la parcela. Los valores se expresaron en kg/planta.

4.6.8 Rendimiento

El rendimiento constituyó el peso del total de tubérculos cosechados en la parcela total. Para el efecto se utilizó una balanza de reloj, expresando los valores en t/ha.

4.6.9 Resultados

Tabla 33. Peso de cosecha total por parcela estudio vs muestra

PESO DE COSECHA TOTAL POR PARCELA ESTUDIO VS MUESTRA				
ÁREAS				
ESTUDIO	COMPARACIÓN			
A	A10	A14	A19	A23
1	0,7	0,75	0,875	1

El peso de nuestra área de estudio en la parcela es de 400kg y en las diferentes muestras tomadas aleatoriamente se puede observar que en las diferentes muestras tomadas la parcela de estudio tiene una mejor producción con las diferentes parcelas, teniendo en cuenta que la producción medida en kg se obtiene que se tiene una 30% más de producción con el área A10 y en un 25% con el área A14 y un 22,5% con el área A19 pero sin embargo, el área A23 posee el mismo nivel de producción que el área de estudio.

PORCENTAJE DE COSECHA ESTUDIO VS COMPARACIÓN

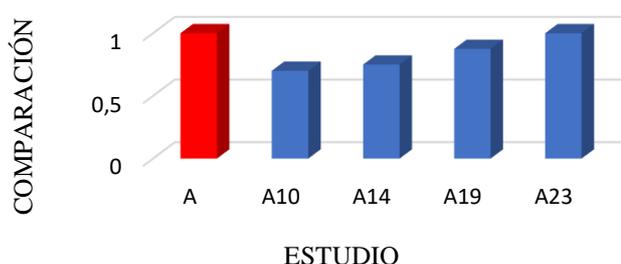


Imagen 35. Porcentaje de cosecha, estudio vs comparación

Tabla 34. Promedio total de tubérculos por parcela

PROMEDIO TOTAL DE TUBÉRCULOS POR PARCELA				
ÁREAS				
ESTUDIO	COMPARACIÓN			
A	A10	A14	A19	A23
17,68	19.60	18	19,2	11.22

Para obtener la calidad de la mejora del producto, una de las características a evaluar es el número de tubérculos que se presentan en la cosecha por cada planta que conforma el lote de estudio y de comparación. El promedio total del número de tubérculos en este caso el número de tubérculos obtenidos en el área de estudio es menor al número de tubérculos en las diferentes áreas de estudio.

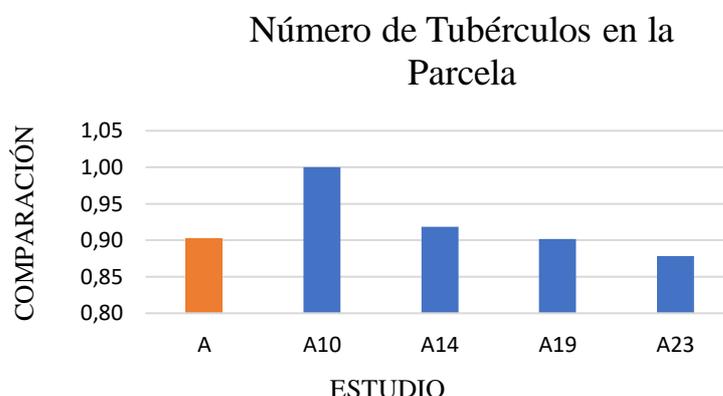


Imagen 36. Número de tubérculos en la parcela

En esta evaluación del número de tubérculos se obtiene que el área de estudio tiene un índice menos de tubérculos, en sí presenta un 10% menos en el conteo de tubérculos con la muestra A10 la cual presenta un mayor número, pero sin embargo este valor obtenido no implica que el número de tubérculos sea de buena calidad.

Tabla 35. Clasificación del rendimiento de tubérculos por parcela %

CLASIFICACIÓN DEL RENDIMIENTO DE TUBÉRCULOS POR PARCELA %					
ÁREAS					
	ESTUDIO	COMPARACIÓN			
	A	A10	A14	A19	A23
EXTRA	24,14	25,86	23,27	23,38	22,54
SELECTA	25,41	20,11	21,61	20,56	23,66
COMERCIAL	23,63	25,29	24,93	25,92	25,07
DOMÉSTICA	19,82	20,11	21,05	20,56	20,28
BABY	5,59	5,75	5,82	5,07	4,23
OTROS	1,42	2,87	3,32	4,51	4,23
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

En el estudio para comprender la calidad de la cosecha obtenida se realizó una clasificación de los productos obtenidos de acuerdo con los estándares del MAGAP para ello se realizó una clasificación en 6 categorías las cuales están clasificadas por el peso obtenido por tubérculo.

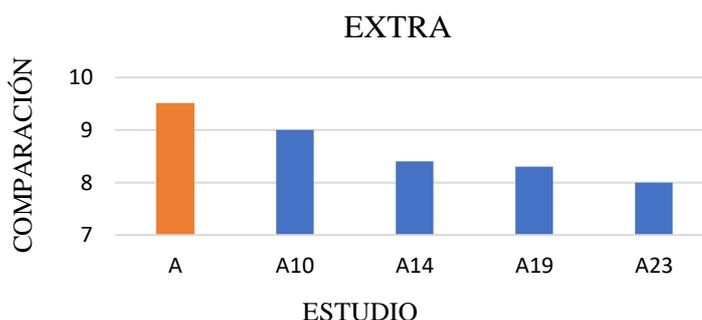


Imagen 37. Clasificación del producto como extra

En la clasificación del producto como extra se obtiene que el área de estudio tiene una mejor producción de este tubérculo con respecto a las diferentes áreas de estudio.

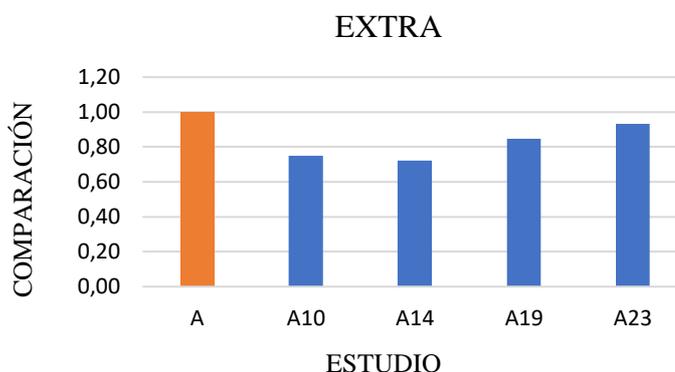


Imagen 38. clasificación del producto como extra

El área de estudio presenta una mejora en la producción de tubérculo de clasificación extra presenta un 25% más del área A10 y un 28% de área A14 y la comparación con la producción de igual rendimiento que nuestra área de estudio es la A23 la cual presenta un 7% menos de producción que el área de estudio.

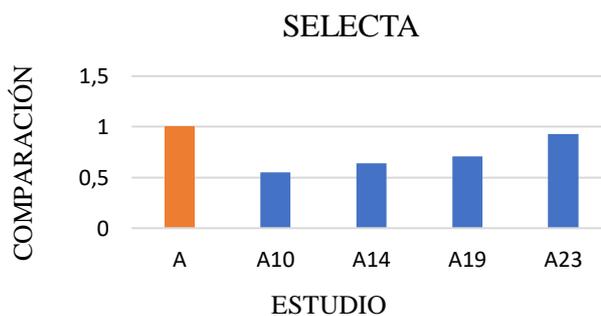


Imagen 39. Clasificación del producto tipo selecta

La producción y clasificación del tubérculo tipo selecta se obtiene un mayor rendimiento en el área de estudio teniendo en cuenta que esta presenta un 45% más de producción que el área A10 y un 23% más que el área A14 el área que posee un porcentaje más próximo a la producción del área de estudio es el área A23 cuando esta presenta un déficit de 7% con respecto al área de estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se investigó sobre todos los factores abióticos y bióticos los cuales influyen en la producción del cultivo de papas, los factores abióticos son los cuales delimitan la proliferación de los diferentes factores bióticos.
- Se identificó los dispositivos para la implementación de la red de sensores, los módulos XBee S2 con su potencia de transmisión de 2mW (3dBm), establecen el rango de conexión de 40 nodos entre los diferentes elementos que componen la red. Además, se tiene una sensibilidad de recepción en los diferentes nodos el cual fluctúa entre -84dBm y -90dBm haciendo la mejor elección tanto de software como hardware para tener un control de los diferentes factores abióticos que se presentan en el ecosistema de cultivo de papas.
- Al implementar la red de sensores inalámbricos se pudo determinar cómo afectan los factores abióticos y bióticos en el cultivo de papas, logrando con ello tener una óptima producción con resultados eficaces, los cuales son los que se querían obtener.
- El proyecto de la red de sensores tendría una buena acogida a nivel de Parroquia y de Cantón teniendo en cuenta que el Cantón Guano es uno de los mayores productores de papa a nivel de provincia y al implementar este sistema de control para determinar la productividad del cultivo de papas mediante una red de sensores reduciría en gran cantidad estos riesgos, aumentando así la calidad de producción y alzando considerablemente las ventas de los agricultores.
- Se instaló un sistema de control el cual nos permite inspeccionar la temperatura y humedad tanto de suelo como ambiental, permitiéndonos así controlar el ecosistema del cultivo de papas así también como la productividad de la producción de papas.
- El comportamiento de los datos de humedad y temperatura con los sensores reales tiene una dispersión igual que los ideales, es decir que la media de la humedad y temperatura real es estadísticamente igual a la media de la humedad ideal, obteniendo así resultados satisfactorios para el cumplimiento de este proyecto de investigación.
- Se desarrolló un sistema de envío y recepción de mensajes SMS y una aplicación la cual nos permite visualizar los datos y las diferentes lecturas de los sensores en tiempo real, así como también las acciones que se realizan en el ambiente de estudio tanto como son el encendido y apagado de ventiladores, aspersores y calefactores.
- Para generar la interfaz de usuario se utilizó THINGSPEAK, la cual es una plataforma de Matlab que permite interpretar y modificar los datos obtenidos mediante diferentes sensores. Esta plataforma es estable y nos permite visualizar y controlar nuestros dispositivos desde computadores y equipos móviles teniendo soporte en la plataforma Android e IOS.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda incorporar el uso de tarjetas de desarrollo con mejores características en memoria para los diferentes nodos sensores, para posibilitar el incremento de sensores los cuales supervisan los diferentes factores como temperatura, humedad tanto del ambiente como la humedad del suelo del cultivo.
- Se sugiere configurar el sistema de comunicación API en los módulos ZigBee y Xbee S2, los cuales permiten acceder directamente a los diferentes parámetros internos de los módulos sensor y coordinador y facilita las conexiones de red independientes y no requiere de tarjetas de desarrollo en nodos end device.
- Se puede evaluar el sistema de red desarrollado en diferentes programas de simulación de redes como OMNET++, NETSIM Y NS-3 los cuales permiten generar las diferentes características del sistema desarrollado.
- Se otorga la posibilidad de almacenar la información obtenida a una base de datos los cuales permitirán realizar un procesamiento y futuros análisis los cuales permitan desarrollar equipos más seguros y confiables los cuales permitan una mejor producción de papas.
- Se recomienda la utilización de los módulos IoT Esp8266 y el Esp32 Sim8001, los cuales facilitan la intercomunicación con las diferentes plataformas de cloud, las que permiten generar una mejor interface de usuario y mucha de estas son de la misma marca de las placas de desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. E. Horton, «Las papas en los países en desarrollo,» *Revista Latinoamericana de la Papa*, pp. 9-17, 1988.
- [2] J. S. Espinoza Vaca, «Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana,» mayo 2008. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/487>. [Último acceso: noviembre 2021].
- [3] MAGAP, «Ecuador se proyecta a ser exportador de papa,» Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-de-papa/>.
- [4] «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/a-I7658s.pdf>.
- [5] T. Smith y R. Smith, «Factores bióticos,» *Etece*, 2021.
- [6] H. X. Cuesta Subía, «Estado actual de la investigación de la papa en el Ecuador,» p. 17, junio 2021.
- [7] A. Robles, «Factores que inciden en la productividad agrícola,» 2009.
- [8] E. Gomez, D. Navas, G. Apontemayor y L. Betancourd, «Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización,» *Dyna*, 2014.
- [9] E. Ruiz, «Récnicas de investigación,» 2018.
- [10] J. Lozada, «Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria,» *Tics y Sociedad*, 2014.
- [11] A. Kuznik, A. Hurtado y A. Espinal, «el uSo de la encueSTa de TIpo SocIal en TraducTologÍa. caracTerÍSTIcaS meTodológIcaS,» *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 2010.
- [12] L. Bravo , U. Garcia, M. Martinez y M. Varela, «La entrevista, recurso flexible y dinámico,» *Elsevier*, 2013.
- [13] R. Blake, “Sistemas Electrónicos de comunicaciones,” Mexico, 2004.
- [14] D. Gascon, «“Redes de Sensores Inalámbricos: La tecnología invisible,»» *Tecnología y Sociedad*, 2010.
- [15] S. Casco, “Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black Comparación y Aplicaciones,,” Paraguay, 2014.
- [16] T. Liu, «“Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302),”» *Aosong Electronic*, 2018.
- [17] M. A. Rosa, «GoogleSites,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/ieslafuentsanta.es/iot/proceso/estudio-plataformas-iot/software/thingspeak>. [Último acceso: 7 junio 2022].
- [18] A. Rodriguez y A. Perez, «Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento,» *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 2017.

- [19] D. Franco y F. Castillo, “Comunicaciones Inalámbricas: Bluetooth”, Panama, 2009.
- [20] J. Dignani, “Análisis del protocolo ZigBee,”, La Plata, 2011.
- [21] [En línea]. Available:
https://www.rapaluruaguay.org/sitio_1/transgenicos/Papa/papa_transgenica.html.
- [22] Sumba, P., & Torres, D. (2019). *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)*. Universidad Politécnica Salesiana.
- [23] Cedeño, J., Zambrano, M., & Medina, C. (2014). Redes inalámbricas de sensores eficientes para la agroindustria. *Prisma Tecnológico*.
- [24] Acosta Ponce, M. C. (2006). *Estudio del estándar IEEE 802.15.4 Zigbee para comunicaciones inalámbricas de área personal de bajo consumo de energía y su comparación con el estándar IEEE 802.15.1 bluetooth*.
- [25] Alegría Jiménez, J. D., & Muñoz Morales, O. G. (2006). *Evaluación y aplicación de la tecnología IEEE 802.15.4 en el transporte del ritmo cardíaco como entrada para un sistema de comunicación automática*.
- [26] Archila, D. M., & Santamaría, F. A. (2013). *Estado del Arte de las Redes de Sensores Inalambricos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/21057>
- [27] Armendáriz Mateos, Á., & Falcone Lanás, F. J. (2011). *ANÁLISIS DE LA DEPENDENCIA TOPOLÓGICA DE UNA RED DE SENSORES ZIGBEE EN RELACIÓN CON EL CANAL DE RADIOPROPAGACIÓN PARA ENTORNOS INTERIORES*.
- [28] Basantes, F., Aragón, J., Albuja, L., & Vásquez, L. (2020). *Diagnóstico de la situación actual de la producción y comercialización de la papa (Solanum tuberosum L.) en la Zona 1 del Ecuador*. <https://181.193.125.13/index.php/eagronegocios/article/view/5103>
- [29] Bolaños, A. F. (2015). *Evaluación de diferentes orígenes de semilla de papa (Solanum tuberosum L.) provenientes de tres sistemas de producción en dos localidades de la Sierra Ecuatoriana*. Quito: UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4541>
- [30] Botello, M., Muro-Lemus, H. J., Hernández-Benítez, J. A., & Orozco-Lugo, A. G. (2003). *Redes Ad-Hoc y recepción múltiple de paquetes: Conceptos y tendencias*. 9na. Conferencia de Ingeniería Eléctrica, Ciudad de México.
- [31] Castillo, J. M., Palomares, J. M., Olivares, J., & Leon, F. (2012). Sincronización de Tiempos en Redes Inalámbricas de Sensores con Ajuste Avanzado por Temperatura. *Proceedings of the 7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, 7.
- [32] Echeverría, A. (2017). *Efecto de factores abióticos y bióticos sobre la estructura de la comunidad microbiana del suelo en un ambiente oligotrófico*. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx//handle/11627/3134>
- [33] Gahlot, N., Gundkal, V., Kothimbire, S., & Thite, A. (2015). Zigbee based weather monitoring system. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, 4(4), 61–66.
- [34] García Arano, C. (2010). *IMPACTO DE LA SEGURIDAD EN REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES IEEE 802.15.4*.
- [35] Gómez i Montenegro, C., & Paradells Aspás, J. (2004). Redes Ad-Hoc: El próximo

reto. *BURAN*, 21.

- [36] Gordón, M. E., & Vásquez, B. S. (2012). *Análisis de desempeño de redes de Sensores Inalámbricos en Tiempo Real aplicadas a Monitorización Volcánica*. SANGOLQUÍ / ESPE / 2012. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/6074>
- [37] Liu, H.-Y. (2020). Design of a Wireless Temperature and Humidity Monitoring System Based on ZigBee Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1601, 042044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/4/042044>
- [38] Logicbus. (2021). *Tecnología Zigbee*.
- [39] Martín Moreno, J., & Ruiz Fernández, D. (2007). *Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4)*.
- [40] Peng, D., & Wan, S. (2013). Industrial Temperature Monitoring System Design Based on ZigBee and Infrared Temperature Sensing. *Optics and Photonics Journal*, 03(02), 277–280. <https://doi.org/10.4236/opj.2013.32B065>
- [41] Pérez, J., Urdeneta, E., & Custodio, Á. (2014). Metodología para el diseño de una Red de Sensores Inalámbricos. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 18(70), 11.
- [42] Pérez, W., & Forbes, G. (2011). *Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina*. International Potato Center.
- [43] Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Editorial Abya Yala.
- [44] Robles, A. (2009). *Factores que limitan la productividad y rentabilidad del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.)*. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=tesis.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=009557>
- [45] Schneider Electric. (2005). *A Quantitative Analysis of the ZigBee Wireless Standard*.
- [46] Serna-Garcés, S. (2009). Especificación de Perfil Zigbee para Monitoreo y Control de Plantas Industriales. *Revista Tecno Lógicas*. <https://doi.org/10.22430/22565337.238>
- [47] Tirelli, P., Borghese, N. A., Pedersini, F., Galassi, G., & Oberti, R. (2011). *Automatic monitoring of pest insects traps by Zigbeebased wireless networking of image sensors*.
- [48] Velásquez, J., Paula, N., Racines, M. R., Cruz, E. R., & Araujo, A. (2017). *El cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en el Ecuador: Tecnología de producción y manejo de semillas*. [48] Tulcán, EC: CIP/INIAP, 2017. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4433>
- [49] Vera Romero, C. A., Barbosa Jaimes, J. E., & Pabón González, D. C. (2017). La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física. *Scientia et Technica*, 22(3).
- [50] Wail Nourildean, S. (2012). A Study of ZigBee Network Topologies for Wireless Sensor Network with One Coordinator and Multiple Coordinators. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 19(4), 65–81.
- [51] Pardavé, C. 2004. Cultivo y comercialización del cultivo de papa Perú. 133 p.
- [52] ROJAS, W. 1995. Biodiversidad y recursos genéticos. In Memorias del seminario sobre investigación, producción y comercialización de la quinua. La Paz, Bol. MACAIBTA. Pp 5-16.

ANEXOS

Anexo 1. Esquemas de conexión Nodo Router Sensor, Router Actuador y Nodo Coordinador.

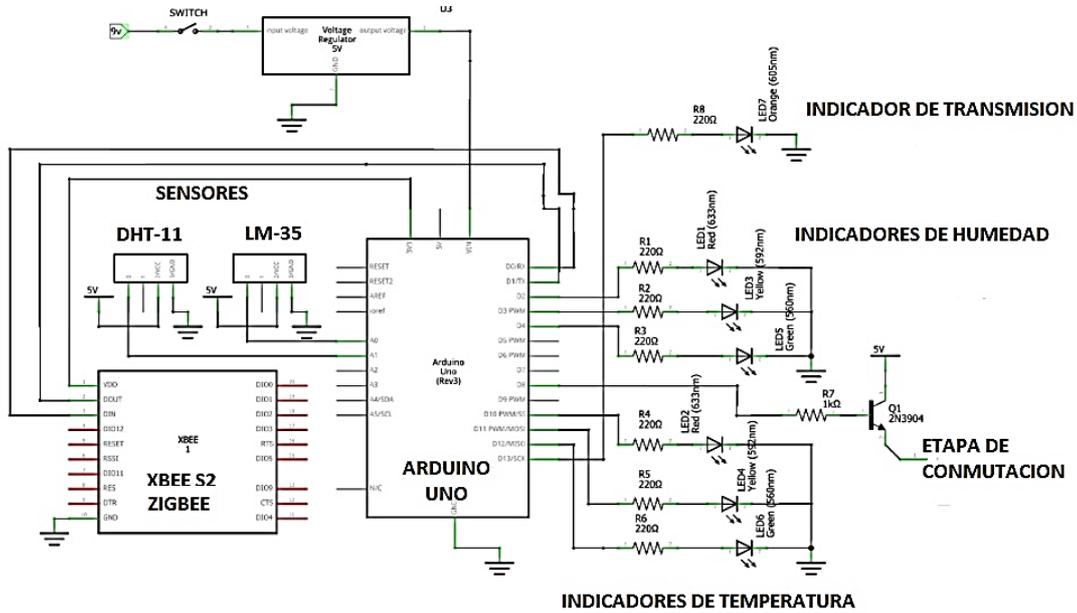


Imagen 40. Nodo Router

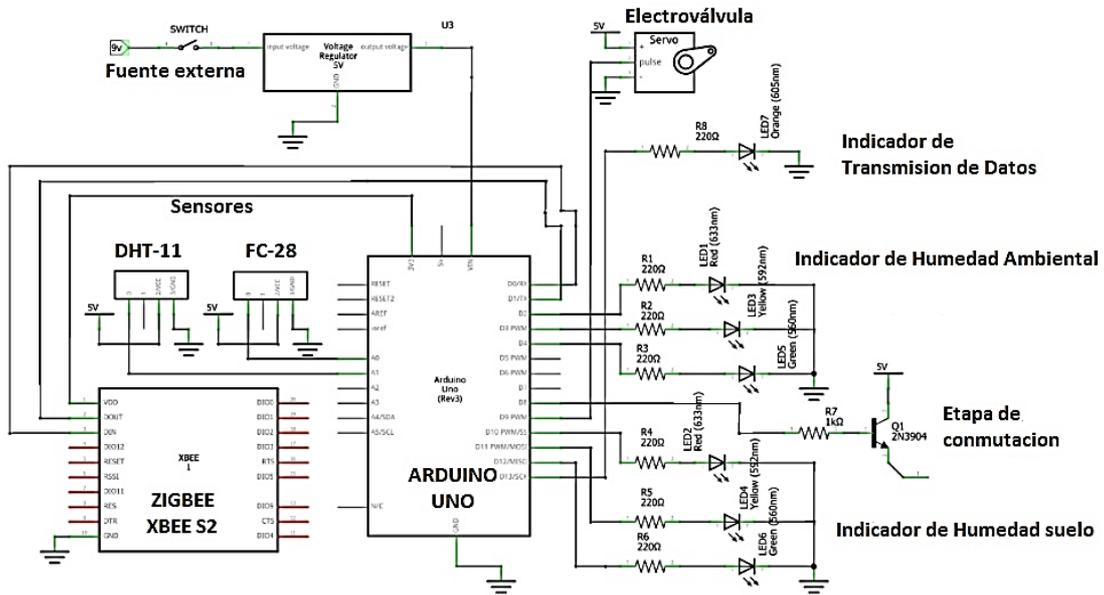


Imagen 41. Nodo Router

Anexo 3. Funcionamiento de la red inalámbrica de sensores

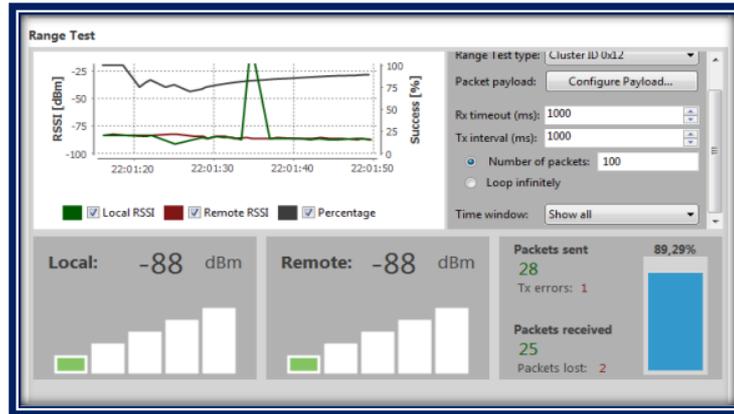


Imagen 44. Potencia de transmisión de XBee

Fuente: (XCTU,2022); **Elaborado por:** Teresa Alejandra Mora Mera

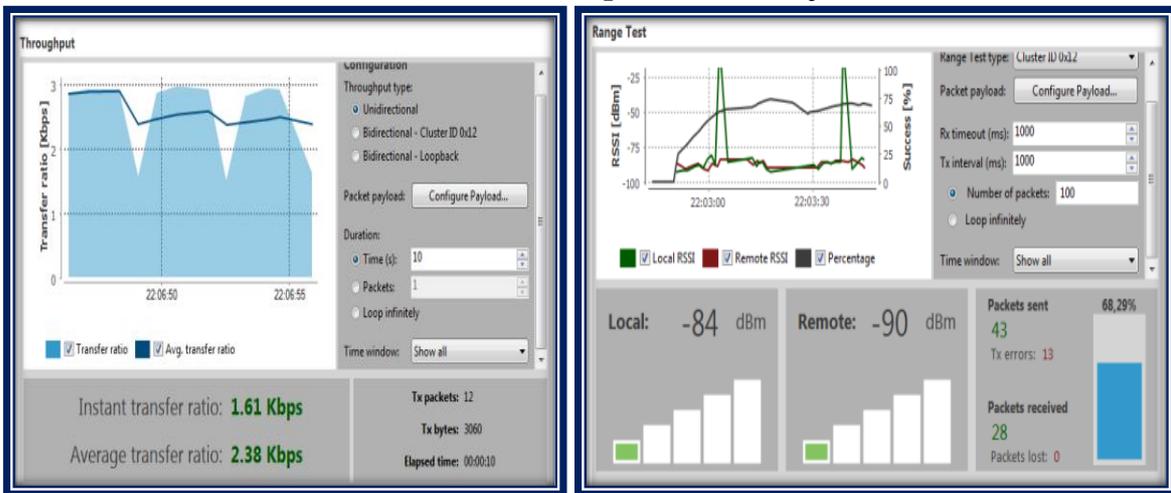


Imagen 45. Velocidad y Distancias de transmisión

Fuente: (XCTU,2022); **Elaborado por:** Teresa Alejandra Mora Mera

Anexo 4. Funcionamiento y desarrollo de aplicaciones móviles en la plataforma THINGSPEAK.

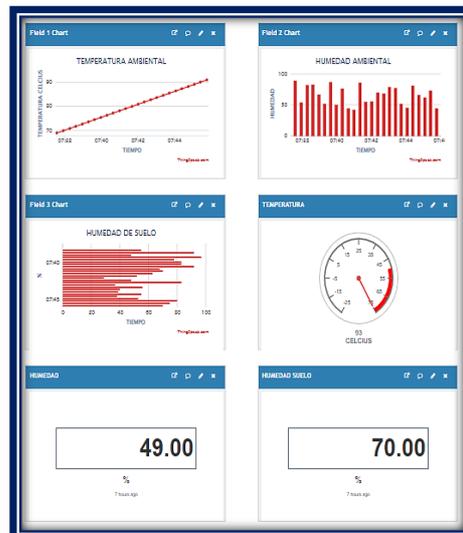


Imagen 46. Gráficos de Campo del proyecto de investigación en la plataforma THINGSPEAK



Imagen 47. Funcionamiento de los Sensores en la aplicación móvil de la plataforma THINGSPEAK.

Anexo 5. Planimetría del lugar donde se realizó lo estudios.

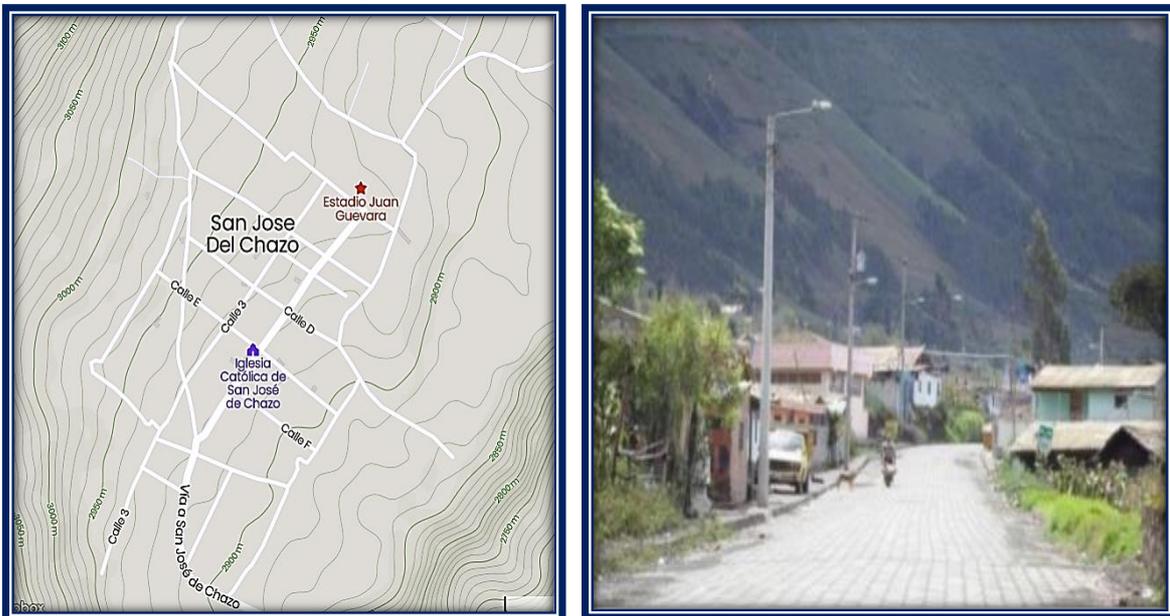


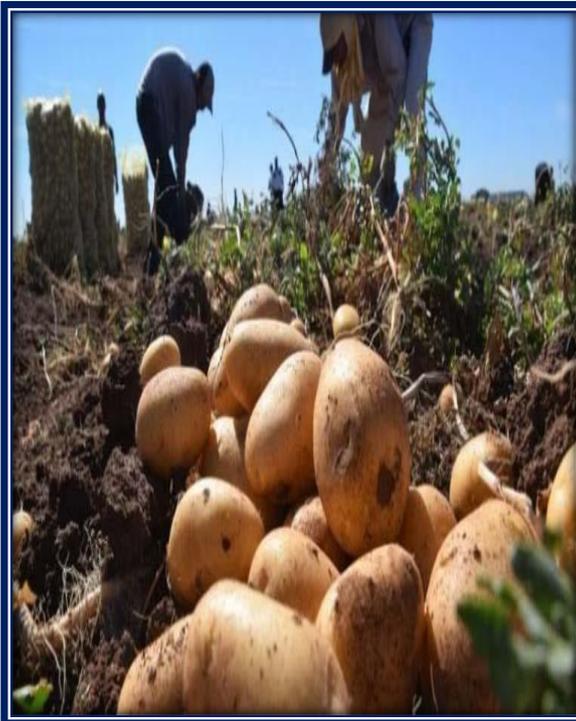
Imagen 48. Parroquia de San José de Chazo

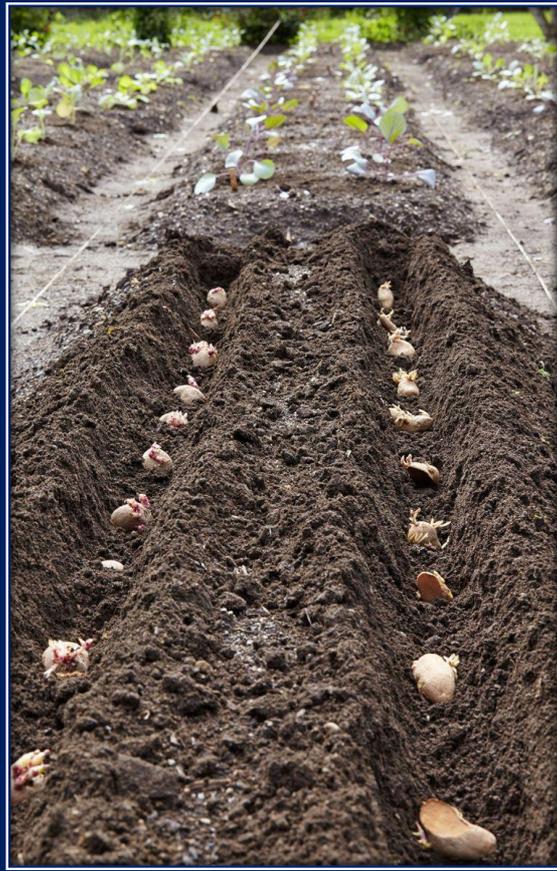
Fuente: PDOT (Plan de Ordenamiento Territorial) San José de Chazo

Anexo 6. Implementación del sistema de control para el Cultivo de papas en la Parroquia de San José de Chazo

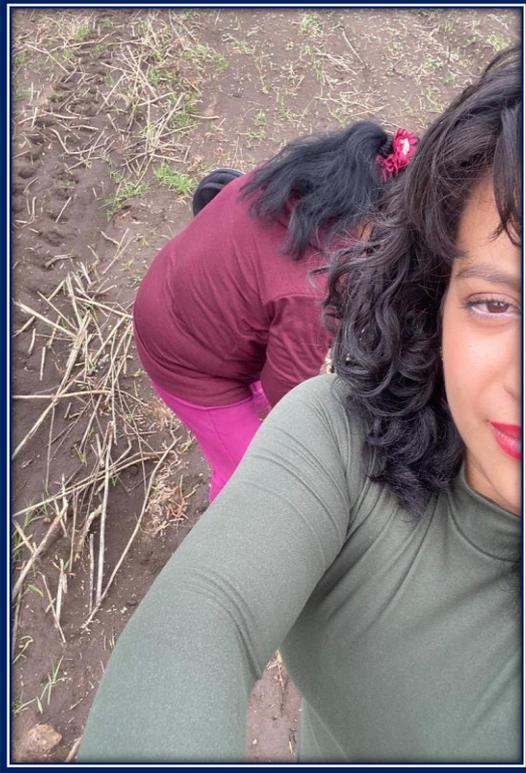




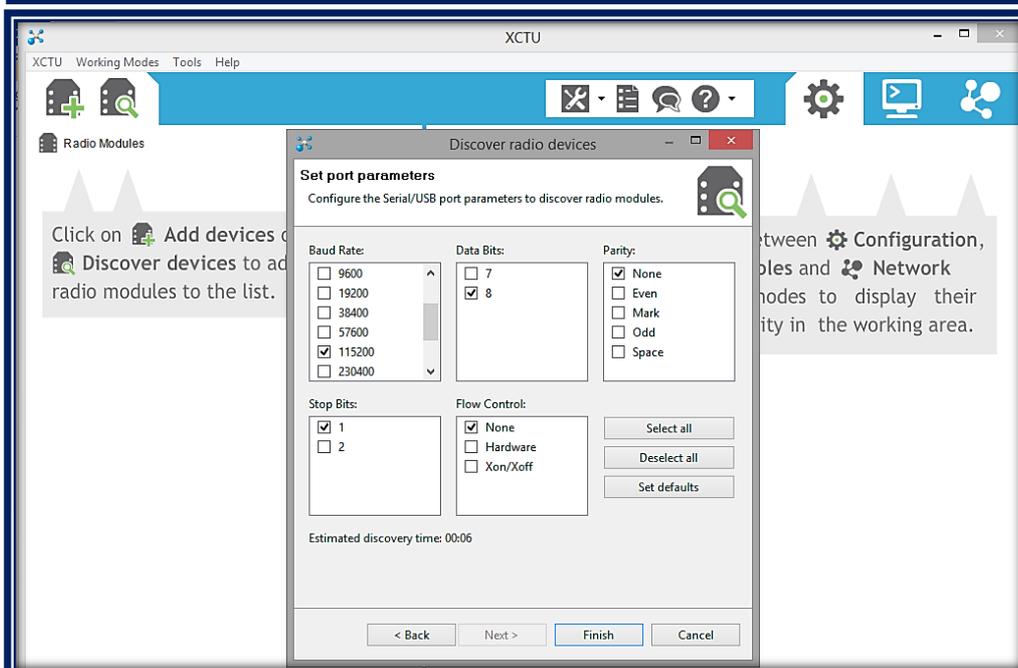
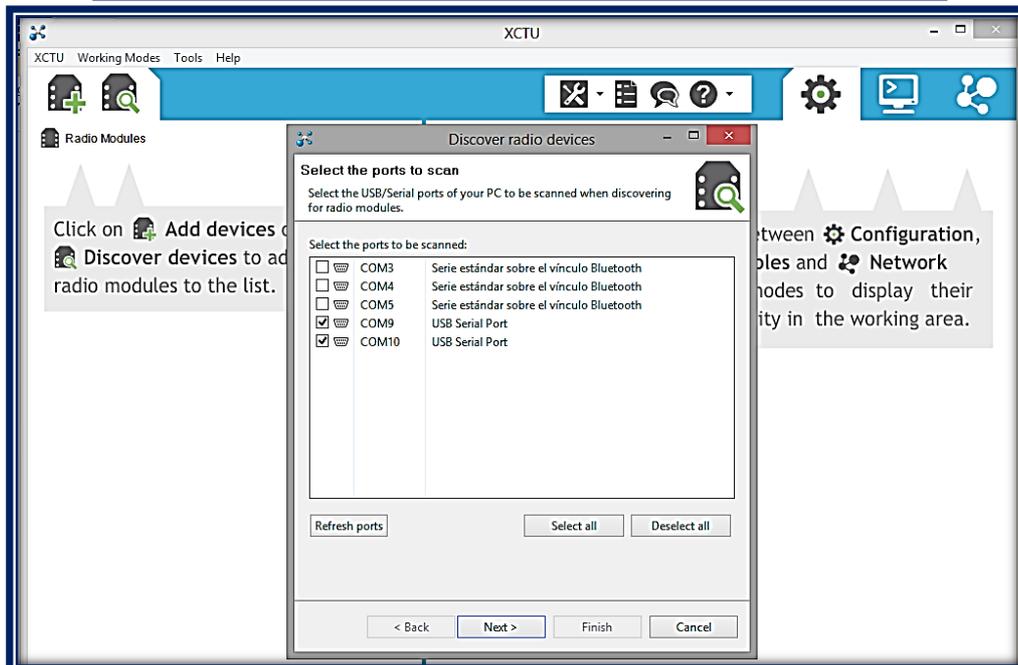
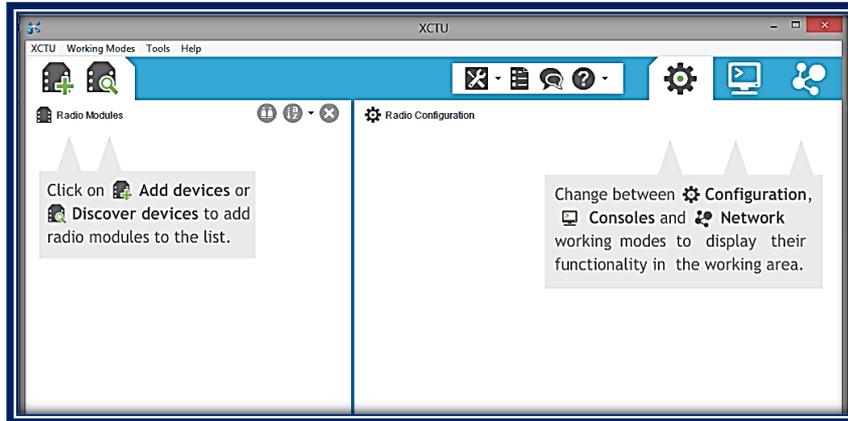


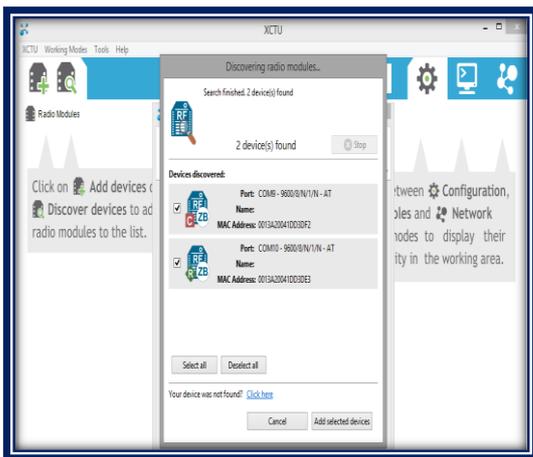




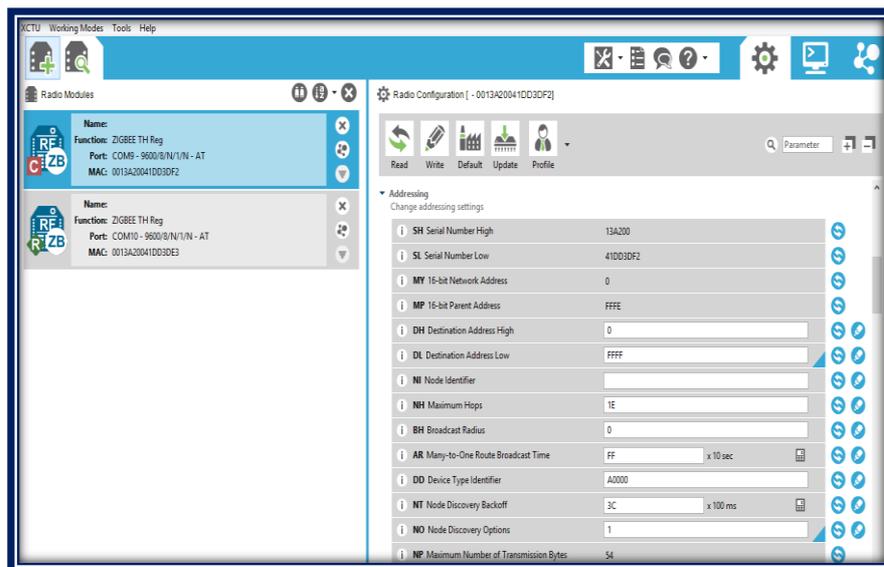
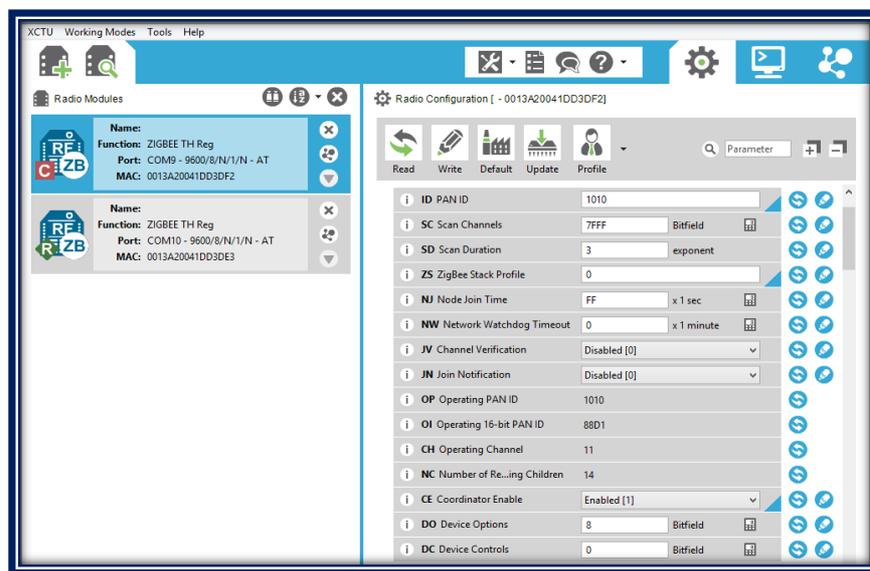


Anexo 7. Programación XBEE S2

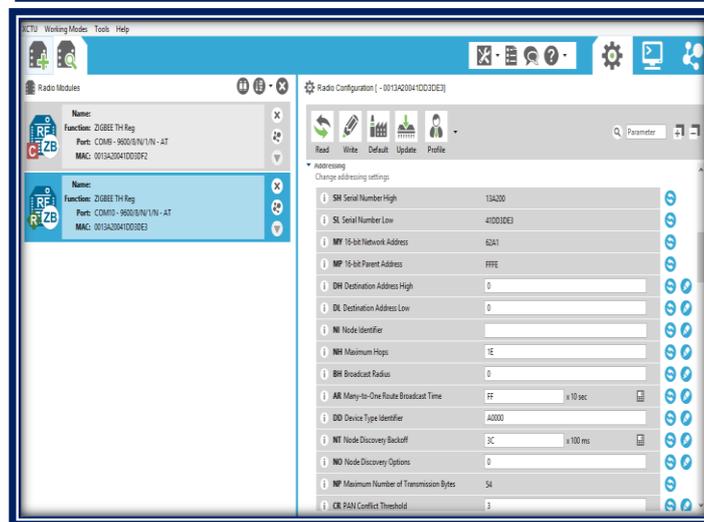
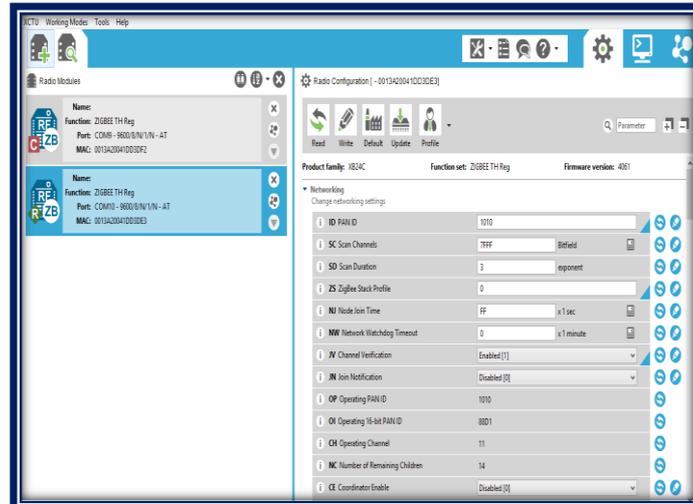




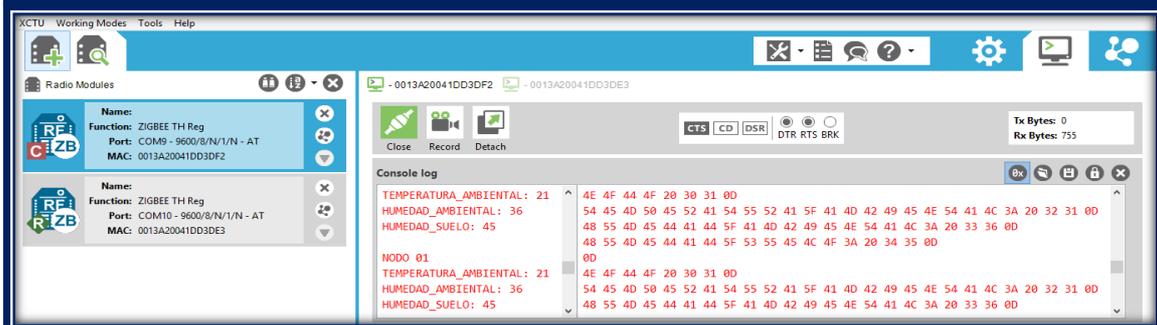
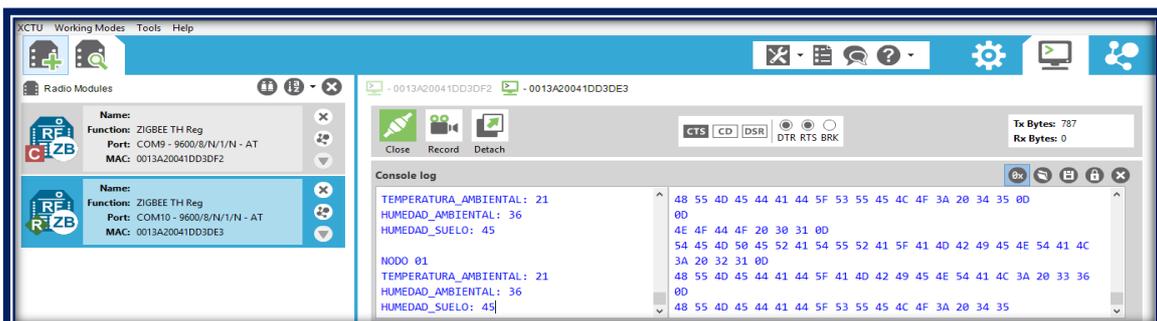
Nodo Coordinador



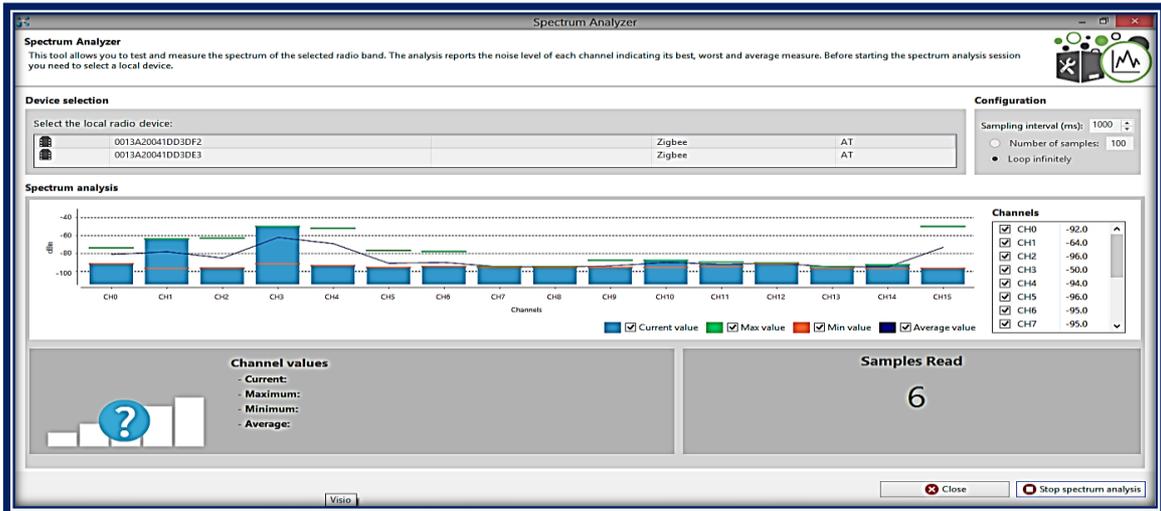
Nodo Router



De Router a Coordinador



Analizador de Espectro



Nodo Router

```
#include<SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial se2(6,5);
SoftwareSerial se3(7,8);
SoftwareSerial se4(9,10);
```

```
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
int FC28= A2;
int SENSOR = 2;
int TEMPERATURA_AMBIENTE;
int HUMEDAD_AMBIENTE;
int HUMEDAD_SUELO;
float HUME;
int ledY=13;
int ledG=12;
int ledR=11;
int ledYH=10;
int ledGH=9;
int ledRH=8;
DHT dht(SENSOR, DHT11);
```

```
void setup(){
```

```
Serial.begin(9600);
se2.begin(9600);
se3.begin(9600);
se4.begin(9600);
```

```
dht.begin();
```

```
pinMode(ledY,OUTPUT);
```

```
pinMode(ledG,OUTPUT);
```

```
pinMode(ledR,OUTPUT);
```

```
pinMode(ledYH,OUTPUT);
```

```

pinMode(ledGH,OUTPUT);

pinMode(ledRH,OUTPUT);
}

void loop(){

TEMPERATURA_AMBIENTE = dht.readTemperature();HUMEDAD_AMBIENTE
= dht.readHumidity();
HUMEDAD_SUELO= analogRead(FC28);

HUME= (1023 - HUMEDAD_SUELO)*(0.096);

if (TEMPERATURA_AMBIENTE >= 17 && TEMPERATURA_AMBIENTE <= 23)
{
digitalWrite(ledY,LOW);
digitalWrite(ledG,HIGH);
digitalWrite(ledR,LOW);

}

if (TEMPERATURA_AMBIENTE < 17 && TEMPERATURA_AMBIENTE >= 5)
{
digitalWrite(ledY,HIGH);
digitalWrite(ledG,LOW);
digitalWrite(ledR,LOW);
}

if (TEMPERATURA_AMBIENTE >23 && TEMPERATURA_AMBIENTE <= 30)
{
digitalWrite(ledY,LOW);
digitalWrite(ledG,HIGH);
digitalWrite(ledR,LOW);

}

if (TEMPERATURA_AMBIENTE <5 )
{
digitalWrite(ledY,LOW);
digitalWrite(ledG,LOW);
digitalWrite(ledR,HIGH);

}

if(TEMPERATURA_AMBIENTE >30)
{
digitalWrite(ledY,LOW);
digitalWrite(ledG,LOW);
digitalWrite(ledR,HIGH);

}

//ESTADOS DE HUMEDAD AMBIENTAL

if ( HUME >=90 && HUME <= 95)

```

```

{
  digitalWrite(ledYH,LOW);
  digitalWrite(ledGH,HIGH);
  digitalWrite(ledRH,LOW);
}

```

```

if ( HUME <90 && HUME >= 35)
{
  digitalWrite(ledYH,HIGH);
  digitalWrite(ledGH,LOW);
  digitalWrite(ledRH,LOW);
}

```

```

if ( HUME <35)
{
  digitalWrite(ledYH,LOW);
  digitalWrite(ledGH,LOW);
  digitalWrite(ledRH,HIGH);
}

```

```

Serial.print("TEMPERATURA AMBIENTE : ");
Serial.println(TEMPERATURA_AMBIENTE);
Serial.print("HUMEDAD AMBIENTE : ");
Serial.println(HUMEDAD_AMBIENTE);
Serial.print("HUMEDAD SUELO : ");
Serial.println(HUME);

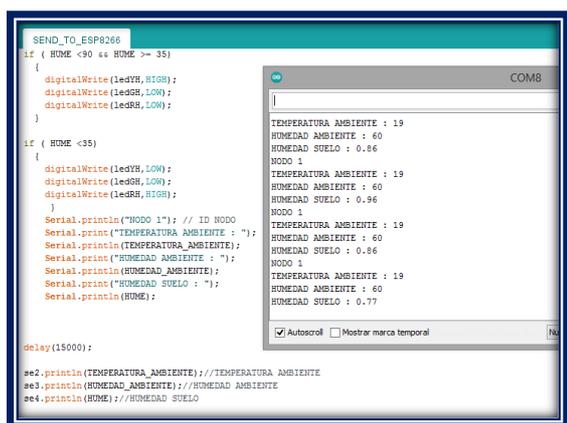
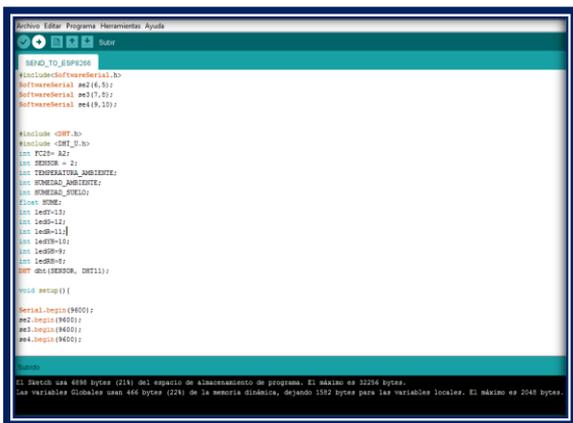
```

```
delay(15000);
```

```

se2.println(TEMPERATURA_AMBIENTE);//TEMPERATURA AMBIENTE
se3.println(HUMEDAD_AMBIENTE);//HUMEDAD AMBIENTE
se4.println(HUME);//HUMEDAD SUELO
}

```



Recepción de Datos en Xbee

The screenshot shows the XCTU software interface. On the left, a radio module is configured with the following details:

- Name: ZIGBEE TH Reg
- Function: ZIGBEE TH Reg
- Port: COM9 - 115200/8/N/1/N - AT
- MAC: 0013A20041DD3DF2

The console log displays the following received data:

```

TEMPERATURA AMBIENTE : 19 48 55 4D 45 44 41 44 20 41 4D 42 49 45 4E 54 45 20 3A 20 35 39 0D 0A
HUMEDAD AMBIENTE : 59 48 55 4D 45 44 41 44 20 53 55 45 4C 4F 20 3A 20 32 2E 37 38 0D 0A
HUMEDAD SUELO : 2.78 4E 4F 44 4F 20 31 0D 0A
NODO 1 54 45 4D 50 45 52 41 54 55 52 41 20 41 4D 42 49 45 4E 54 45 20 3A 20 31 39 0D
TEMPERATURA AMBIENTE : 19 0A
HUMEDAD AMBIENTE : 59 48 55 4D 45 44 41 44 20 41 4D 42 49 45 4E 54 45 20 3A 20 35 39 0D 0A
HUMEDAD SUELO : 2.69 48 55 4D 45 44 41 44 20 53 55 45 4C 4F 20 3A 20 32 2E 36 39 0D 0A
    
```

The interface also includes a 'Send packets' section with a table for Name and Data, and a 'Send a single packet' section with options for 'Send selected packet', 'Send sequence', 'Transmit interval (ms): 500', 'Repeat times: 1', and 'Loop infinitely'.

Radio Range Test

This tool allows you to test the real RF range and link quality between two radio modules in the same network. Before starting the Range Test session you need to select a local device and a remote one or specify a remote destination address.

Device selection

Select the local radio device: 0013A20041DD3DF2 Zigbee AT

Select the remote radio device: Remote selection: Specify 64-bit address 0013A20041DD3DE3

Range Test

The graph shows RSSI [dBm] and Success [%] over time (01:26 to 01:30). The Local RSSI (green line) starts at approximately -50 dBm and drops to around -80 dBm after 01:27. The Success percentage (black line) starts at 100% and drops to approximately 87.65% after 01:27.

Configuration

- Range Test type: Cluster ID 0x12
- Packet payload: Configure payload...
- Rx timeout (ms): 1000
- Tx interval (ms): 1000
- Number of packets: 100
- Loop infinitely:

Test Results

- Local: -70 dBm
- Remote: 0 dBm
- Packets sent: 81
- Packets received: 71
- Packets lost: 10
- Success: 87.65%

Anexo 8. Rendimiento de Tubérculo por Categoría

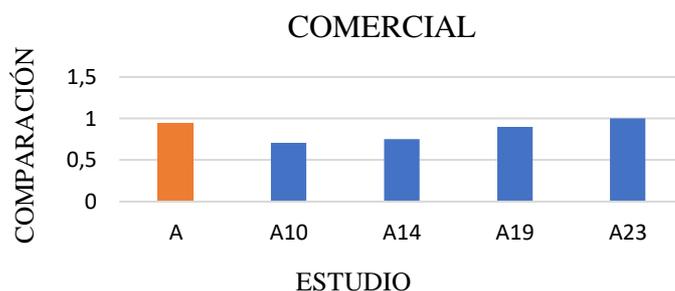


Imagen 49. Clasificación del producto tipo comercial

En esta selección de tubérculo comercial la mayor producción se obtiene del Área de muestra A23 y el área de estudio presenta un 6% menos de producción que el A23 mientras tanto las demás áreas de muestreo presentan un 21.34% de promedio menos de producción que el área A23.

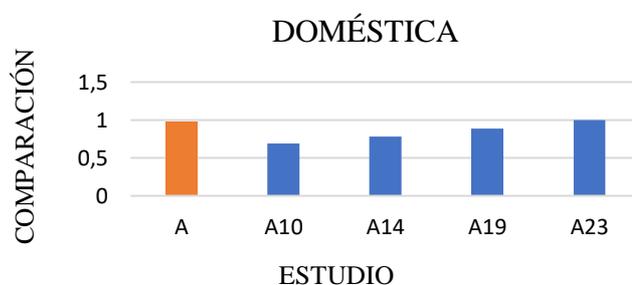


Imagen 50. Clasificación del producto tipo doméstica

La selección de tubérculos doméstica el área de estudio presenta un 2% menos de producción con respecto al área de muestra A23 mientras que el área A14 presenta un 22% menos de producción y el área de muestra A19 presenta un 89% de producción.



Imagen 51. Clasificación del producto tipo baby

En la selección baby ésta es representativamente mayor en el área de estudio y en el área igual de producción se presenta con un 24% menos de producción en el área A23, sin embargo, en las demás áreas de muestra se presentan una media de 73.4% del total de producción por lote. Sin embargo, están normalizadas con la producción mayor de esta calidad de caracterización.

Anexo 9. Encuestas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



Encuesta dirigida a los moradores de la Parroquia “San José De Chazo” del cantón Guano, de la Provincia de Chimborazo.

Tema:

Implementación de un Sistema de Control de Factores Abióticos y Bióticos para Determinar la Productividad del Cultivo de Papas Mediante una Red de Sensores.

Marque con una x la respuesta de su preferencia.

1. ¿Usted realiza alguna clase de cultivo?

Si ()

No ()

2. ¿Qué tipo de cultivo realiza?

Papa ()

Cebolla ()

Maíz ()

3. ¿Ha presentado dificultades en la producción de su cultivo?

Si ()

No ()

4. ¿Su cultivo ha presentado algún tipo de plaga?

Si ()

No ()

5. ¿Se ha visto afectado sus cultivos por la presencia de plagas?

Si ()

No ()

6. ¿Se ha perdido su cultivo o se ha visto disminuido la producción de su cultivo por condiciones ambientales?

Si ()

No ()

7. ¿Sabía Usted que la producción de un cultivo puede potenciarse y ser óptima con las condiciones ambientales adecuadas?

Si ()

No ()

8. ¿Sabía Usted que las plagas pueden ser evitadas mediante un control específico de temperatura y humedad?

Si ()

No ()

9. ¿Sabía que existen redes de sensores los cuales nos permiten generar las condiciones ambientales óptimas para mejorar la producción de los cultivos?

Si ()

No ()

10. Estaría de acuerdo en el uso de esta tecnología sabiendo, ¿Qué esta le permitirá tener una mejor producción al controlar las condiciones ambientales desde un dispositivo móvil?

Si ()

No ()

Anexo 10. Resultados de la Encuesta

Para la primera pregunta de la encuesta se desea saber cuántas personas de las que se tomó la muestra se dedican al cultivo de papas en el sector de San José de Chazo.

Para esta encuesta se obtuvo como resultado que de un total de 120 personas se dedican a la actividad agrícola la cual estamos realizando el estudio así teniendo un 89.6% de las personas encuestadas serán nuestro objeto de estudio y análisis.

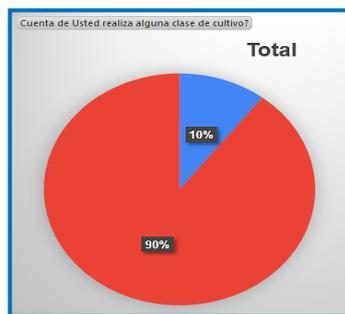


Imagen 52. Resultado de la primera gráfica del estudio y análisis de la encuesta.

Para un mejor estudio procederemos a crear una nueva muestra con los resultados los cuales nos facilitaran la interpretación de los datos teniendo en cuenta que la muestra actual de estudio específico será de 120 personas.

La segunda pregunta fue de que tipo de producción realizan, entre estas preguntamos si se dedicaban al cultivo de papas cebolla u otros, teniendo como resultado que, en nuestra nueva muestra de 120 personas, 105 se dedican al cultivo de papas unas 8 personas a diversificación de cultivos y el resto a maíz.



Imagen 53. Gráfica del tipo de producción que realizan los encuestados.

En este caso no seremos excluyentes ya que son cultivos y de cierta manera tienen su caracterización en el ambiente óptimo el cual pueden brincar su mejor producción.

En la tercera pregunta se manifiesta si en algún momento estos han presentado dificultad en el la producción de su cultivo, en esta se obtuvo como resultado que un once por ciento de las personas encuestadas no presentan dificultades a lo largo de los periodos de cultivo siembra y cosecha, mientras que el 89% de las personas presentan problemas en los cultivos ya que al ser de distintas partes de esta parroquia las condiciones ambientales y geográficas de las mismas son distintas las cuales dificultan en la producción y cosecha del cultivo.

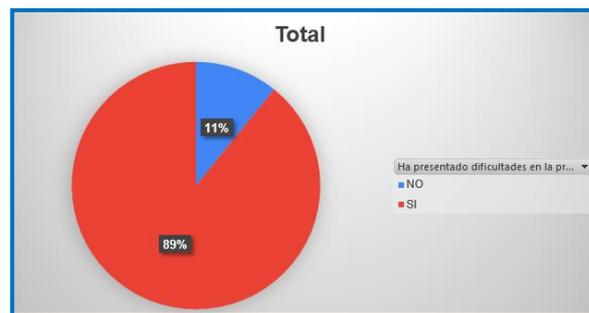


Imagen 54. Gráfica de si han presentado alguna dificultad en la producción de su cultivo

En la cuarta pregunta se indaga sobre las afecciones que perjudican a los cultivos, teniendo como respuesta que un 88% de las personas encuestadas presentan diferentes afecciones por las plagas que se presentan en este sector de producción agrícola.

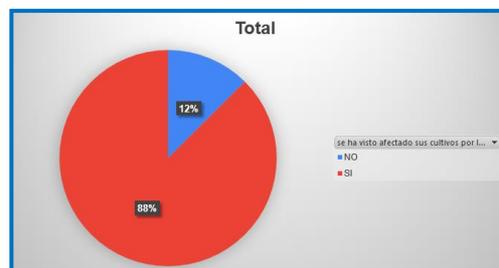


Imagen 55. Gráfica sobre las afecciones que perjudican a los cultivos

En la quinta pregunta se obtuvo un 100%, estas personas han perdido sus cultivos por diferentes condiciones climatológicas las cuales describen como seca (escases de agua), heladas (bajas temperaturas en la zona de cultivo), siendo estas las principales causas de la pérdida total o parcial del cultivo y de la disminución de la producción agrícola.

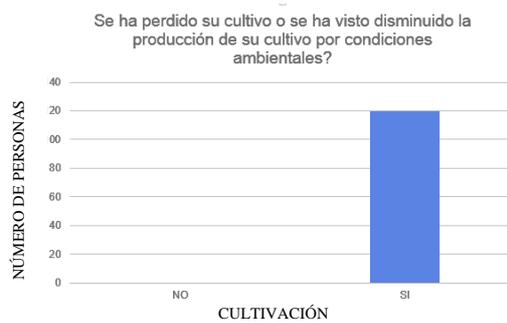


Imagen 56. Gráfica sobre si hay pérdidas en la producción en las diferentes condiciones climatológicas

En la siguiente pregunta se indaga sobre si las personas saben conocen que las condiciones ambientales optimas mejorarían sus producción y cultivo, El 12% de las personas encuestadas respondió que sí que unas mejores condiciones en las cuales ellos realizan sus cultivos le darían mejor producción, mientras que el 88% de las personas piensa que el único método de mejorar el cultivo y la producción es mediante el uso de químicos y agroquímicos para los cultivos.

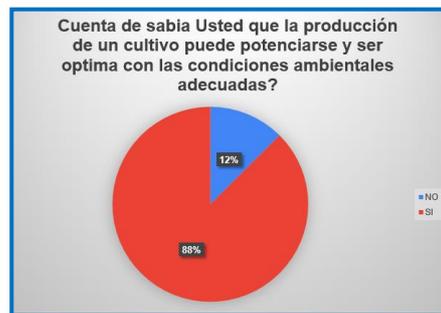


Imagen 57. Gráfica sobre las condiciones ambientales óptimas para su producción y cultivo de papas

Como respuesta a la pregunta que si los encuestados saben que se puede controlar y evitar las plagas mediante un correcto uso de factores ambientales estos respondieron que solo el 16% de las personas saben que los factores ambientales son un factor determinante para la proliferación y expiación de plagas sin embargo no saben cuáles son esas condiciones, mientras un 84% de las personas conocen totalmente de este factor muy importante



Imagen 58. Gráfica sobre si pueden controlar y evitar las plagas en el cultivo.

Se les pregunto a las personas encuestadas si conocían sobre la existencia de redes de sensores los cuales permiten tener un ambiente controlado de acuerdo a las especificaciones que requiere cada cultivo tanto de humedad como de temperatura y un 10% respondió que conocían pero por el desconocimiento de las mismas no lo han implementado y que prefieren

métodos más tradicionales, mientras que el 90% de los encuestados desconoce de la red de sensores y que tenga ese nivel de aplicabilidad en la agricultura.

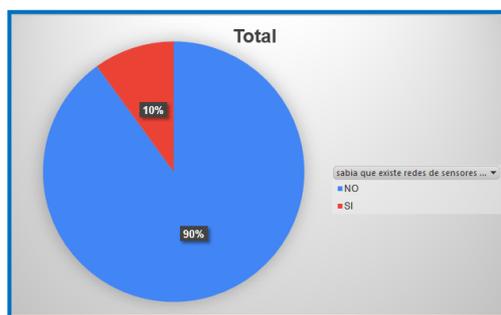


Imagen 59. Gráfica sobre si las personas encuestadas conocían sobre la existencia de redes de sensores

Por último se les pregunto a los encuestados si estarían de acuerdo en implementar estas redes de sensores para obtener una mejor producción en los diferentes cultivos que se realizan en la zona para prevenir los diferentes cambios ambientales que se producen en la zona de cultivo y estudio para evitar la pérdida total o parcial de los cultivos y potenciar y salvaguardar la producción, un 4% de las personas no les interesaría realizar este tipo de implementación en sus zonas de cultivo por estas no ser de una gran extensión de cultivo, mientras el 96% de las personas estarían muy interesadas en tomar estas medidas de prevención y de control para que sus cultivos no se vean afectados con los cambios ambientales que se producen en la zona de san José de Chazo.

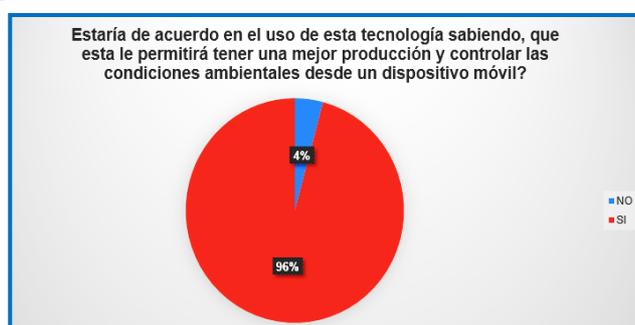


Imagen 60. Gráfica del resultado de si estuviesen de acuerdo en implementar estas redes de sensores

El proyecto de la red de sensores tendría una buena acogida a nivel de Parroquia y de Cantón teniendo en cuenta que este Cantón es uno de los mayores productores de papa a nivel de provincia, además que no solo cuenta con esta zona de producción si no diferentes, las cuales también se ven afectadas por los diferentes cambios de temperatura que se dan en la zona y las zonas aledañas a la producción.

Siendo este proyecto muy aplicable y modificable a las diferentes producciones que se realicen, así como cultivos y especificaciones que requieran los agricultores y en las diferentes geografías que ellas presenten.

Esta red de sensores puede ser escalable y a su vez ser una red meteorológica de control para prevenir perdidas en cultivos a lo largo de las diferentes zonas aledañas teniendo en cuenta que las condiciones climatológicas no difieren dentro de los $5-13K m^2$.

Tabla 36. Costo de producción de papa por hectárea

COSTO DE PRODUCCIÓN DE PAPA POR HECTÁREA									
CULTIVO:			PAPA						
ZONA:			SIERRA - SAN JOSE DE CHAZO						
RENDIMIENTO:			540 SACOS DE PAPA						
N°	ACTIVIDAD	TECNOLOGÍA	HORAS	CANTIDAD	PERSONAL	TRANSPORTE	COSTO UNITARIO	TOTAL, POR HECTAREA	
1	PREPARACIÓN DEL SUELO	Tractor Arada/ Hora	5				15	75	
		Tractor Rastrada/ Hora	4				15	60	
		Tractor Rastrada/ Hora	4				15	60	
		Sub Total						195	
2	VARIEDAD	Papa Quintal		27			18	486	
		Sub Total						486	
3	SIEMBRA	Transporte Semilla				1	27	27	
		Surcado y tapado jornal 1			15		20	300	
		Sub Total						327	
4	FERTILIZACIÓN	Abono		20			30	600	
		Sub Total						600	
5	LABORES AGRÍCOLAS	Riego			8		12	96	
		Aporque			20		12	240	
		Medio Aporque			15		12	180	
		Rascadillo			15		12	180	
		Sub Total						696	
6	CONTROL FITOSANTARIO	Control Gusano Blanco						32	
		Acefato 75% kg			1		32	32	
		Control Pulguilla							39,5
		karade Zoon litro			1		39,5	39,5	
		Control otras plagas							34
		Profendes litro			1		20	20	
		Fijador litro			1		3,5	3,5	
		Inciato (regulador PH) lt			1		10,5	10,5	
		Aplicación 1 Jornal			2		12	24	
		Controles para Lancha							23,8
		Marcozab litro			1		18	18	
		Fijador incate litro			1		5,8	5,8	
Aplicación 2 jornal			2		12	24			
		Sub Total						306,6	
7	COSECHA	Recolección Manual			20		12	240	
		Sacos Hilos			540		0,3	162	
		Sub Total						402	
8	POSCOSECHA	Clasificación y ensacado jornal			10		12	120	
		Transporte al Mercado Saco			540		1	540	
		Sub Total						660	
		Total, Costos						3672,6	