



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica  
Unidad de Posgrado

**Evaluación y control del cultivo de maíz, mediante  
diseño e implementación de una red inalámbrica de  
sensores y actuadores en el distrito de Huayucachi**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en  
Telecomunicaciones

**AUTOR**

Roberto Florentino UNSIHUAY TOVAR

**ASESOR**

Mg. Wilbert CHÁVEZ IRAZABAL

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Unsihuay, R. (2023). *Evaluación y control del cultivo de maíz, mediante diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores en el distrito de Huayucachi*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Roberto Florentino Unsihuay Tovar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	19944586
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4086-3527">https://orcid.org/0000-0002-4086-3527</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Wilbert Chávez Irazabal
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08121733
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-7978-7031">https://orcid.org/0000-0002-7978-7031</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Carlos Alberto Moreno Paredes
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01292577
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Jaime Alberto Vallejos Laos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08786103
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Carlos Alberto Sotelo López
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07017259
<b>Miembro del jurado 3</b>	
Nombres y apellidos	Arlich Joel Portillo Allende
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10125495

Línea de investigación	C.0.3.5. Comunicaciones Inalámbricas
Grupo de investigación	TIC APLICADAS A LA SOCIEDAD – TAS
Agencia de financiamiento	Sin Financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Desarrollo prototipo:  País: Perú  Departamento: Lima  Provincia: Lima  Distrito: Lima  Universidad Nacional Mayor de San Marcos  Ciudad Universitaria, Pabellón FIEE:  Latitud: -12.0552561  Longitud: -77.0892868  Pruebas de Campo en::  País: Perú  Departamento: Junín  Provincia: Huancayo  Distrito: Huayucachi  Barrio Chanchas  Av. Ferrocarril S/N  Latitud: -12.1265512  Longitud: -75.225464</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2019 - Agosto de 2020
URL de disciplinas OCDE	Telecomunicaciones <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05</a>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD DE POSGRADO

Calle Germán Amezaga N.º 375 Lima (Perú)  
Teléfono (01) 6197000 Anexo 4204  
Correo: postfie@unmsm.edu.pe



«AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO»

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

Siendo las 19:10 horas del 22 de febrero de 2023, los suscritos miembros del jurado reunidos virtualmente en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, el Jurado Examinador presidido por el Dr. Carlos Alberto Moreno Paredes, Mg. Jaime Alberto Vallejos Laos, Mg. Carlos Alberto Sotelo López, Mg. Arlich Joel Portillo Allende y el Mg. Wilbert Chávez Irazabal.

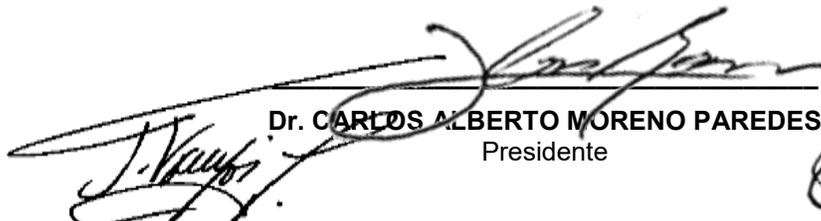
Se reunió para la sustentación oral y pública de la Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones, que solicitó el alumno **Roberto Florentino Unsihuay Tovar** con código N° 0999116, el cual procedió hacer la exposición oral y pública de su Tesis Titulada **"EVALUACIÓN Y CONTROL DEL CULTIVO DE MAÍZ, MEDIANTE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES Y ACTUADORES EN EL DISTRITO DE HUAYUCACHI"**

Concluida la exposición, el Jurado Examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle la siguiente calificación:

BUENO	16	DIECISEIS
NÚMERO		LETRAS

A continuación, el Presidente Jurado recomienda que la Unidad de Posgrado proceda con el trámite correspondiente para que se otorgue el Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones al alumno **Roberto Florentino Unsihuay Tovar**.

Siendo las 20:57Hrs se levantó la Sesión, recibiendo el graduado las felicitaciones de los señores miembros del Jurado y público asistente.

  
Dr. CARLOS ALBERTO MORENO PAREDES  
Presidente

Mg. JAIME ALBERTO VALLEJOS LAOS  
Miembro

  
Mg. CARLOS ALBERTO SOTELO LOPEZ  
Miembro

  
Mg. ARLICH JOEL PORTILLO ALLENDE  
Miembro

  
Mg. WILBERT CHÁVEZ IRAZABAL  
Asesor



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

**UNIDAD DE POSGRADO**

Calle Germán Amezaga N.º 375 Lima (Perú)  
Teléfono (51 – 1) 619-7000 Anexo 4204  
Correo: postfie@unmsm.edu.pe



## **INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD**

El Director de la Unidad de Posgrado, Mg. Wilbert Chávez Irazabal; que suscribe, hace constar que

Para la tesis para optar el grado académico de Magíster en Telecomunicaciones, titulado:

**“EVALUACIÓN Y CONTROL DEL CULTIVO DE MAÍZ, MEDIANTE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES Y ACTUADORES EN EL DISTRITO DE HUAYUCACHI”**

**Autor: Roberto Florentino Unsihuay Tovar**

Presento solicitud de evaluación de originalidad el 20 de febrero de 2023 y el 07 de marzo de 2023, se aplicó el programa informático de similitudes en el software TURNITIN con identificador de entrega N°: 2031797901.

En la configuración del detector se:

- Excluyó textos entrecomillados
- Excluyó bibliografía
- Excluyó cadenas menores a 40 palabras
- Excluyó anexos

**El resultado final de similitud fue del 10%; según descripción adjunta.**

**EL DOCUMENTO ARRIBA SEÑALADO CUMPLE CON LOS CRITERIOS DE ORIGINALIDAD.**

Operador del software: Mg. Wilbert Chávez Irazabal

Lima, 14 de marzo de 2023



Firmado digitalmente por CHAVEZ  
IRAZABAL Wilbert FAU 20148092282  
soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 15.03.2023 12:28:44 -05:00

**MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL**  
**DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO**

WCI/aga

**DEDICATORIA**

Con cariño y gratitud al recuerdo a mis padres, quienes gozan en la presencia de Dios, a mi esposa y mis hijas quienes, son la motivación para seguir avanzando en la senda del conocimiento y saber científico quienes con su apoyo constante han hecho realidad mi objetivo de ser Magíster.

## **AGRADECIMIENTO**

Para desarrollar un trabajo de investigación, son muy variados los recursos a los que debemos acceder y lograr resultados aceptables. Empezando por los conocimientos adquiridos, por las ideas precursoras del trabajo, pasando por la recopilación de la información y llegando a los medios físicos que posibilitan la realización práctica y posterior documentación del trabajo por lo cual debo hacer llegar el siguiente agradecimiento:

A Dios quién a través de su palabra plasmada en la Biblia, me dio fuerzas para poder seguir adelante en el desarrollo de la investigación de la presente tesis.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; mi ALMA MATER por haberme cobijado en sus aulas para seguir la noble carrera de Ingeniería Electrónica y optar el grado de magister en Telecomunicaciones.

A mi Asesor Wilbert Chávez Irazabal, por su apoyo incondicional permanente, así como a todas las personas que me apoyaron en la elaboración de esta tesis.

## ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>iii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	<i>iv</i>
<i>ÍNDICE GENERAL</i> .....	<i>v</i>
<i>LISTA DE CUADROS</i> .....	<i>viii</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i> .....	<i>ix</i>
<i>RESUMEN</i> .....	<i>xii</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>xiii</i>
<b><i>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</i></b> .....	<b><i>14</i></b>
1.1 Situación Problemática.....	15
1.2 Formulación Del Problema .....	16
1.2.1 Problema General .....	16
1.2.2 Problema Específico .....	17
1.3 Justificación Teórica.....	17
1.4 Justificación Práctica.....	18
1.5 Objetivos de la Investigación .....	18
1.5.1 Objetivo General.....	18
1.5.2 Objetivo Específicos.....	19
<b><i>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</i></b> .....	<b><i>20</i></b>
2.1 Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación .....	20
2.2 Antecedentes de la Investigación .....	20
2.2.1 Investigaciones Internacionales .....	20
2.2.2 Investigaciones Nacionales.....	22
2.3 Bases Teóricas .....	24
2.3.1 Redes inalámbricas en la agricultura de precisión.....	24
2.3.2 Clasificación de las redes inalámbricas .....	24
2.3.3 El maíz Amiláceo.....	25
2.3.4 Estándar IEEE 802.15.4 .....	27
2.3.5 Protocolo Zigbee .....	27
2.3.6 Nodos Zigbee .....	29
2.3.7 Red Mesh con XBee .....	31
2.3.8 Módulo XBee PRO S2C .....	32
2.3.9 Calculo Parámetros de enlace de módulos XBee PRO.....	36
2.3.10 Sensor de Temperatura Digital DS18B20 .....	40
2.3.11 Sensor de humedad de suelo HL-69 .....	42
2.3.12 Sensor de Temperatura Ambiental y Humedad Relativa STH31 .....	43
2.3.13 Sensor de Radiación UV GYML8511 .....	44
2.3.14 Electroválvulas FPD-270A .....	45
2.3.15 Arduino UNO .....	46
2.3.16 Microcontrolador PIC 18F4550 .....	48
2.3.17 LabVIEW .....	49
<b><i>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA</i></b> .....	<b><i>50</i></b>

3.1	Hipótesis General.....	50
3.2	Hipótesis Específicas .....	50
3.2.1	Hipótesis Específico 1 .....	50
3.2.2	Hipótesis Específico 2 .....	51
3.2.3	Hipótesis Específico 3 .....	51
3.3	Identificación de variables .....	51
3.3.1	Variable Independiente .....	51
3.3.2	Variable Dependiente.....	51
3.4	Operacionalización de variables.....	52
3.5	Tipo y Diseño de Investigación.....	53
3.5.1	Tipos de investigación.....	53
3.5.2	Tipos de Diseño de Investigación.....	54
3.5.3	Diseños Experimentales.....	54
3.6	Unidad de análisis .....	56
3.7	Población de estudio .....	57
3.8	Tamaño de muestra .....	57
3.9	Selección de muestra.....	58
3.10	Técnicas de Recolección de Datos.....	58
3.11	Análisis e Interpretación de la información .....	59
<b>CAPITULO 4: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES Y ACTUADORES PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO DEL CULTIVO DE MAÍZ .....</b>		<b>60</b>
4.1	Análisis del Sistema .....	60
4.1.1	Análisis del Lugar de Estudio.....	60
4.1.2	Parámetros de evaluación y control.....	64
4.1.3	Requerimientos de dispositivos del Diseño .....	65
4.1.4	Planteamiento de la Solución.....	66
4.1.5	Diagrama General del Sistema .....	67
4.2	Diseño del Sistema .....	68
4.2.1	Diseño del Prototipo WSAN .....	68
4.2.2	Diseño Sistema Modular Router 1-2-3.....	70
4.2.3	Diseño Sistema Modular Router 4 .....	73
4.2.4	Diseño Sistema Modular Coordinador .....	76
4.2.5	Diseño del algoritmo de control de los Sistemas Modulares .....	78
4.2.6	Diseño la Interfaz Gráfica.....	81
4.2.7	Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.....	83
4.2.7.1	<i>Sistema Fotovoltaico de los módulos Ruteadores</i> .....	83
4.2.7.2	<i>Sistema Fotovoltaico de la Estación de Monitoreo</i> .....	84
4.2.8	Dimensionamiento del riego por goteo .....	85
4.3	Implementación y configuración del Sistema.....	86
4.3.1	Instalación del Prototipo WSAN .....	86
4.3.2	Configuración de Módulos XBee con XCTU .....	92
4.4	Pruebas del Sistema .....	96
4.4.1	Test de Cobertura con XCTU.....	96
4.4.2	Análisis Espectral con XCTU .....	101
4.4.3	Pruebas del sistema WSAN con LabVIEW .....	103
4.4.4	Pruebas Remotas del sistema con TeamViewer .....	104

4.5	Evaluación del Ciclo del Proceso de Cultivo de Maíz .....	106
4.5.1	Ciclo del Proceso de Cultivo de Maíz .....	106
4.5.2	Adquisición de datos del Prototipo WSAN .....	107
4.5.2	Graficas de datos del Prototipo WSAN .....	108
<b>CAPITULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>110</b>
5.1	Pruebas de hipótesis.....	110
5.1.1	Verificación de la Hipótesis General .....	110
5.1.2	Verificación de las Hipótesis Específicas .....	110
5.2	Presentación de resultados .....	111
5.3	Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	116
<b>CAPITULO 6: IMPACTOS – ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>		<b>118</b>
6.1	Costos de Implementación de la propuesta.....	118
6.2	Beneficios que aporta la propuesta .....	119
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>120</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>121</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>122</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>124</b>
	ANEXO A. ESQUEMA DE ARDUINO UNO REV3.....	124
	ANEXO B. ARQUITECTURA INTERNA DEL PIC 18F4550.....	125
	ANEXO C. TARJETA ENTRENADORA PIC18F4550.....	126
	ANEXO D. CÁLCULOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	127
	ANEXO C. DATASHEET BATERIA RITAR.....	139
	ANEXO D. COMPARACIÓN DE CARACTERISTICAS FAMILIA XBEE .....	141
	ANEXO E. ESPECIFICACIONES XBEE PRO S2C .....	142
	ANEXO F. AQUITECTURA INTERNA DEL XBEE PRO S2C .....	144
	ANEXO G. ALGORITMO DEL MODULO COORDINADOR .....	145
	ANEXO H. ALGORITMO DEL MODULO ROUTER 1-2-3.....	150
	ANEXO I. ALGORITMO DEL MODULO ROUTER 4.....	153
	ANEXO J. ADQUISICIÓN DE DATOS DEL CICLO DEL MAÍZ .....	155
	ANEXO K. GRAFICAS DE DATOS DEL CICLO DEL MAÍZ.....	159
	ANEXO L. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	177

## LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1.</i> Propiedades de IEEE 802.15.4.....	27
<i>Cuadro 2.</i> Propiedades de IEEE 802.15.4.....	47
<i>Cuadro 3.</i> Operacionalización de variables .....	52
<i>Cuadro 4.</i> Parámetros de evaluación del cultivo de maíz Amiláceo. ....	65
<i>Cuadro 5.</i> Ciclo del proceso de cultivo de maíz 2019 - 2020.....	106
<i>Cuadro 6.</i> Adquisición de datos en hoja de Excel.....	107
<i>Cuadro 7.</i> Resumen de datos del Ciclo 2019 - 2020. ....	116
<i>Cuadro 8.</i> Presupuesto del desarrollo del proyecto. ....	118
<i>Cuadro 9.</i> Estimación de consumo de energía de Ruteadores.....	127
<i>Cuadro 10.</i> Estimación de consumo de energía Estación de Monitoreo....	128
<i>Cuadro 11.</i> Adquisición de datos del periodo de preparación de terreno. .	155
<i>Cuadro 12.</i> Adquisición de datos del periodo de siembra.....	155
<i>Cuadro 13.</i> Adquisición de datos del periodo de crecimiento: cultivo y recultivo. ....	156
<i>Cuadro 14.</i> Adquisición de datos del periodo de crecimiento: florecimiento. .....	156
<i>Cuadro 15.</i> Adquisición de datos del periodo de crecimiento: maduración.	157
<i>Cuadro 16.</i> Adquisición de datos del periodo de cosecha. ....	157
<i>Cuadro 17.</i> Adquisición de datos del periodo de helada y sequía. ....	158

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sensores remotos de INIA en fase experimental.....	23
<i>Figura 2.</i> Clasificación de redes Inalámbricas .....	25
<i>Figura 3.</i> Fenología del cultivo de maíz Amiláceos.....	26
<i>Figura 4.</i> Arquitectura de la pila Zigbee .....	28
Figura 5. Conexión XBee típico .....	30
Figura 6. Red MESH para módulos XBee .....	31
Figura 7. Módulos XBee PRO S2C por tipo de Antena.....	33
Figura 8. Transmisión y recepción del módulo XBee PRO .....	33
Figura 9. Paquetes de datos seriales UART.....	34
Figura 10. Transmisión y recepción del módulo XBee PRO S2C .....	34
Figura 11. Diagrama de Flujo de Transmisión del XBee PRO .....	35
Figura 12. Radio de la 1ra Zona de Fresnell.....	37
Figura 13. Esquema de conexiones y enlaces .....	39
Figura 14. Sensor Digital de temperatura DS18B20 .....	40
Figura 15. Conexión de 2 sensores en Arduino .....	41
Figura 16. Conexión de varios sensores en Arduino. ....	41
Figura 17. Módulo de humedad de suelo HL-69.....	43
Figura 18. Módulo STH31 .....	44
Figura 19. Módulo de Radiación UV GYML8511 .....	45
Figura 20. Electroválvula FPD-270A.....	46
Figura 21. Distribución de pines del Arduino .....	47
Figura 22. Distribución de pines del Microcontrolador PIC 18F4550 .....	48
Figura 23. Interfaz LabVIEW.....	49
Figura 24. Tipos de Investigación y de diseño de investigación. ....	55
Figura 25. Esquema del experimento .....	55
Figura 26. Esquema de la secuencia del diseño de software aplicativo. ....	56
Figura 27. Mapa Geográfico del distrito de Huayucachi. ....	61
Figura 28. Mapa satelital del lugar de estudio.....	61
Figura 29. Área total de estudio.....	62
Figura 30. Superficie y perímetro del área de estudio. ....	62
Figura 31. Área efectiva de Estudio. ....	63
Figura 32. Vista de perfil longitudinal del lugar de estudio. ....	63
Figura 33. Parámetros del lugar de estudio.....	64
Figura 34. Diagrama general del sistema. ....	67
Figura 35. Prototipo WSAN.....	68
Figura 36. Esquema WSAN Coordinador y Router.....	69
Figura 37. Esquema WSAN Coordinador con Router 1-2-3-4. ....	69
Figura 38. Esquema de distribución del Sistema Modular Router 1-2-3.....	70
Figura 39. Diagrama de bloques del sistema modular Router 1-2-3.....	71
Figura 40. Diagrama de componentes del Sistema Modular Router 1-2-3. .	72
Figura 41. Esquema de distribución del Sistema Modular Router 4. ....	73
Figura 42. Diagrama de bloques del sistema modular Router 4. ....	74
Figura 43. Diagrama de componentes del Sistema Modular Router 4.....	75
Figura 44. Esquema de distribución del Sistema Modular Coordinador. ....	76

Figura 45. Diagrama de bloques del sistema modular Coordinador. ....	76
Figura 46. Diagrama de componentes del Sistema Modular Coordinador...	77
Figura 47. Diagrama de flujo del algoritmo de control Coordinador. ....	78
Figura 48. Diagrama de flujo del algoritmo de control Router 1-2-3.....	79
Figura 49. Diagrama de flujo del algoritmo de control Router 4.....	80
Figura 50. Interfaz de Monitoreo. ....	81
Figura 51. Programación en lenguaje G de la Interfaz de Monitoreo.....	82
Figura 52. Gráfica de alimentación de los Ruteadores. ....	83
Figura 53. Gráfica de alimentación de la Estación de Monitoreo.....	84
Figura 54. Diagrama general del riego por goteo.....	85
Figura 55. Despliegue de Router 1-2-3.....	86
Figura 56. Instalación individual de los módulos Router 1-2-3.....	87
Figura 57. Funcionamiento en campo del Router 1-2-3.....	88
Figura 58. Instalación del Router 4. ....	89
Figura 59. Instalación de la estación de monitoreo WSAN. ....	90
Figura 60. Instalación de Sistema Fotovoltaico.....	91
Figura 61. Instalación de Panel Solar. ....	91
Figura 62. Interfaz XBee Explorer USB. ....	92
Figura 63. Configuración de puerto Serial XBee Explorer. ....	92
Figura 64. Conexión del XBee Explorer USB con LAPTOP.....	93
Figura 65. Interfaz de configuración del XCTU. ....	93
Figura 66. Configuración Networking.....	94
Figura 67. Configuración Addressing.....	95
Figura 68. Configuración Security.....	95
Figura 69. Información los módulos XBee de red WSAN. ....	96
Figura 70. Tráfico de información de la red WSAN.....	97
Figura 71. Prueba de cobertura con los módulos XBee.....	97
Figura 72. Prueba de cobertura entre Router API y Coordinador. ....	98
Figura 73. Prueba de cobertura entre Router API y Router 1. ....	99
Figura 74. Prueba de cobertura entre Router API y Router 2-3.....	100
Figura 75. Prueba de cobertura entre Router API y Router 4. ....	100
Figura 76. Inicio del análisis Espectral del Router API.....	101
Figura 77. Fin del análisis Espectral del Router API. ....	102
Figura 78. Prueba de funcionamiento de la Interfaz de Monitoreo.....	103
Figura 79. Distancia de la prueba de Remota.....	104
Figura 80. Interfaz del TeamViewer. ....	104
Figura 81. Estación de Monitoreo Local.....	105
Figura 82. Estaciones de Monitoreo de Remoto Múltiple Plataformas.....	105
Figura 83. Gráfica de temperatura y humedad del suelo. ....	108
Figura 84. Gráfica de valores ambientales. ....	109
Figura 85. Gráfico resumen de temperatura y humedad del suelo: Ciclo 2019-2020.....	112
Figura 86. Gráfica de temperatura ambiental y humedad relativa: Ciclo 2019- 2020.....	114
Figura 87. Gráfica de radiación UV máxima: Ciclo 2019-2020. ....	115
Figura 88. Control de riego por goteo. ....	117
Figura 89. Esquema Electrónico de la Tarjeta Entrenadora PIC18F4550. ....	126

Figura 90. Diseño PCB de la Tarjeta Entrenadora PIC18F4550.....	126
<i>Figura 91.</i> Ubicación del área de estudio en RETScreen. ....	130
<i>Figura 92.</i> Tabla de radiaciones solares. ....	130
<i>Figura 93.</i> Radiación solar. ....	131
Figura 94. Panel Fotovoltaico S-65.....	133
Figura 95. Panel Fotovoltaico TS150M.....	134
Figura 96. Batería de 2500mAh.....	136
Figura 97. Batería RITAR RA12-100. ....	136
Figura 98. Regulador Cargador Solar CMTD 2420.....	138
Figura 99. Gráfica de temperatura del suelo - Preparación de terreno. ....	159
Figura 100. Gráfica de conductividad del suelo - Preparación de terreno. ....	159
Figura 101. Gráfica de temperatura ambiental - Preparación de terreno... ..	160
Figura 102. Gráfica de radiación ultravioleta - Preparación de terreno.....	160
Figura 103. Gráfica de humedad relativa - Preparación de terreno. ....	161
Figura 104. Gráfica de temperatura del suelo - Siembra. ....	161
Figura 105. Gráfica de conductividad del suelo - Siembra.....	162
Figura 106. Gráfica de temperatura ambiental - Siembra.....	162
Figura 107. Gráfica de radiación ultravioleta - Siembra. ....	163
Figura 108. Gráfica de humedad relativa - Siembra. ....	163
Figura 109. Gráfica de temperatura del suelo – Cultivo y Recultivo. ....	164
Figura 110. Gráfica de conductividad del suelo - Cultivo y Recultivo.....	164
Figura 111. Gráfica de temperatura ambiental - Cultivo y Recultivo.....	165
Figura 112. Gráfica de radiación ultravioleta - Cultivo y Recultivo. ....	165
Figura 113. Gráfica de humedad relativa - Cultivo y Recultivo. ....	166
Figura 114. Gráfica de temperatura del suelo - Florecimiento. ....	166
Figura 115. Gráfica de conductividad del suelo - Florecimiento. ....	167
Figura 116. Gráfica de temperatura ambiental - Florecimiento. ....	167
Figura 117. Gráfica de radiación ultravioleta - Florecimiento.....	168
Figura 118. Gráfica de humedad relativa - Florecimiento. ....	168
Figura 119. Gráfica de temperatura del suelo - Maduración.....	169
Figura 120. Gráfica de conductividad del suelo - Maduración. ....	169
Figura 121. Gráfica de temperatura ambiental - Maduración.....	170
Figura 122. Gráfica de radiación ultravioleta - Maduración.....	170
Figura 123. Gráfica de humedad relativa - Maduración.....	171
Figura 124. Gráfica de temperatura del suelo - Cosecha. ....	171
Figura 125. Gráfica de conductividad del suelo - Cosecha.....	172
Figura 126. Gráfica de temperatura ambiental - Cosecha. ....	172
Figura 127. Gráfica de radiación ultravioleta - Cosecha. ....	173
Figura 128. Gráfica de humedad relativa - Cosecha.....	173
Figura 129. Gráfica de temperatura del suelo – Helada y Sequía. ....	174
Figura 130. Gráfica de conductividad del suelo - Helada y Sequía.....	174
Figura 131. Gráfica de temperatura ambiental - Helada y Sequía.....	175
Figura 132. Gráfica de radiación ultravioleta - Helada y Sequía.....	175
Figura 133. Gráfica de humedad relativa - Helada y Sequía. ....	176

## RESUMEN

La presente tesis diseña e implementa una red de sensores y actuadores inalámbricos (WSAN, del inglés wireless sensor and actuator network), para evaluar y controlar el proceso del cultivo de maíz en el distrito de Huayucachi, Huancayo, en el terreno denominado "Pucucho Pampa", de área efectiva de estudio de 3477.03 m<sup>2</sup>, mediante el diseño de una red de sensores inalámbricos conectados con dispositivos de red XBee fabricado por la empresa DIGI, y protocolo de red ZIGBEE IEEE 802.15.4, desplegados en topología malla.

Se describe en el marco teórico los antecedentes, las características de los dispositivos de la red inalámbrica de sensores y actuadores (WSAN), así también se describe el proceso del cultivo de maíz desde la Preparación de Terreno, el Periodo de Siembra, el Periodo de Crecimiento (Cultivo y Recultivo, Florecimiento, Maduración), el Periodo de Cosecha y el Periodo de Helada y Sequia.

Se detalla el diseño y configuración de los módulos ruteadores, acondicionamiento de señal de cada nodo sensor, test de cobertura de los módulos de radio frecuencia XBee. El diseño de la programación y configuración con las herramientas y librerías de LabVIEW, para la presentación de las mediciones en la interfaz gráfica en tiempo real y almacenamiento de datos en hoja de Excel. Se evalúa y correlaciona los datos adquiridos de temperatura, humedad del suelo y ambiente, la radiación UV, los parámetros de control para la electroválvula para el sistema de riego por goteo, de forma muestreada. Determinación de valores máximos y mínimos de los parámetros de medición, de acuerdo a las estaciones del año y los cambios climáticos, los rangos favorables y adversos para óptimo desarrollo del maíz en cada etapa del proceso, mediante cuadros estadísticos obtenidos, como resultado de la investigación, presentando los beneficios del prototipo WSAN, en el proceso del cultivo de maíz en Huayucachi.

**Palabras claves:** XBee, protocolo ZIGBEE, WSAN, LabVIEW.

## ABSTRACT

This thesis proposes to design and implement a wireless sensors and actuators network (WSAN), to evaluate and control the process of corn cultivation in the district of Huayucachi, Huancayo, in the land called Pucucho Pampa ". of effective study area of 3477.03 m<sup>2</sup>, through the design of a network of wireless sensors connected with XBee network devices manufactured by the company DIGI, and network protocol ZIGBEE IEEE 802.15.4, deployed in mesh topology.

The background, the characteristics of the devices of the wireless network of sensors and actuators (WSAN) are described in the theoretical framework, as well as the process of corn cultivation from the Preparation of the Land, the Planting Period, the Period of Growth (Cultivation and Recultivation, Flowering, Maturation), the Harvest Period and the Period of Frost and Drought.

The design and configuration of the router modules, signal conditioning of each sensor node, coverage test of the XBee radio frequency modules are detailed. The design of programming and configuration with LabVIEW tools and libraries, for the presentation of measurements in the graphical interface in real time and data storage in an Excel spreadsheet. The acquired data of temperature, soil and ambient humidity, UV radiation, control parameters for the solenoid valve for the drip irrigation system are evaluated and correlated, in a sampled manner. Determination of maximum and minimum values of the measurement parameters, according to the seasons of the year and climatic changes, the favorable and adverse ranges for optimal development of corn in each stage of the process, through statistical tables obtained, as a result of the investigation, presenting the benefits of the WSAN prototype, in the process of corn cultivation in Huayucachi.

**Keywords:** XBee, ZIGBEE protocol, WSAN, LabVIEW.

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

La tecnología de redes de banda ancha ha evolucionado con prestaciones muy inteligentes, con velocidades de datos muy altas que hacen más simples las aplicaciones de tiempo real de audio, video, en videoconferencia, televisión digital, telefonía Móvil y telefonía fija IP, cuyas necesidades de ancho de banda son cada vez más aún mayores. Sin embargo la red de sensores y actuadores inalámbricos de baja tasa de velocidad de datos, bajo consumo de energía, de corta distancia en cobertura y fácil despliegue en la instalación de los nodos sensores, para aplicaciones domóticas, sistemas de seguridad, detección de fugas de gas, sistemas frigoríficos, plantas industriales, agricultura de precisión, entre otros, asimismo, estas redes de baja velocidad han evolucionado significativamente gracias a los sensores y actuadores inalámbricos, capturar y almacenar datos de diversos parámetros de medición en procesos productivos para evaluar, controlar y tomar decisiones, de acuerdo al diseño de algoritmos de programación para optimizar los resultados.

La tesis describe el diseño e implementación una red de sensores y actuadores inalámbricos (WSAN), para evaluar y controlar el ciclo del proceso de cultivo de maíz en el distrito de Huayucachi. Se expone en el capítulo 1 la formulación de los problemas y los objetivos, en el capítulo 2 se menciona los antecedentes relevantes nacionales e internacionales y bases teóricas, en el capítulo 3 se especifica la metodología de investigación empleada, el capítulo 4 aborda el diseño e implementación del prototipo WSAN, el capítulo 5 se expone los resultados del proyecto y en el capítulo 6 se define los costos y beneficios del prototipo implementado. Finalmente se plantea las conclusiones y recomendaciones relacionado al tema de investigación desarrollado.

## 1.1 Situación Problemática

La importancia de la sostenibilidad en la agricultura se incrementa de forma permanente, las condiciones climáticas muy aleatorias, cambios bruscos entre lluvioso, sequías, heladas, granizadas, proliferación de plagas más resistentes a los fungicidas, entre otras condiciones adversas, constituyendo costos elevados, mayor riesgo de inversión, afectando negativamente la rentabilidad de la producción de maíz. Pero la demanda de productos agrícolas crece, por requerimientos de seguridad alimentaria de la población, la demanda de los consumidores de productos de mejor calidad, para hacer frente a estos retos, se requiere buscar alternativas de solución en la innovación tecnológica, como es la red de sensores y actuadores inalámbricos (WSAN) aplicados a la agricultura, específicamente al proceso del cultivo de maíz.

En el contexto internacional existe aplicaciones similares de las redes de sensores inalámbricos que solucionan problemas en el área de la domótica, la agricultura de precisión, la industria de alimentos, estacionamientos de vehículos, control de temperatura de cámaras frigorífica controlando el estado de los alimentos almacenados, entre otras aplicaciones ventajosas. El desarrollo exponencial y acelerado de las tecnologías, en especial en áreas de las telecomunicaciones, que nos brinda la oportunidad de solucionar problemas existentes por tiempos indefinidos, orientar a aplicaciones específicas y proponer soluciones ventajosas para optimizar procesos, como es el caso del cultivo de maíz, en cada etapa de su producción, para controlar y evaluar sus parámetros que tenga relación directa o inversa, desde la preparación del terreno, siembra, cultivo, hasta lograr una cosecha de maíz en condiciones óptimas, los cuales son temperatura, humedad, pH del agua de riego, niveles de calidad de los fertilizantes en el terreno de cultivo, plantear las variables controlables y de evaluación mediante la red de sensores y actuadores XBEE que se diseña e implementa de forma satisfactoria para medir desde un lugar remoto, como la oficina central de monitoreo, a través de acceso por internet, mediante el diseño de

una interfaz de monitoreo que sea posible instalar en un Smartphone, una Tablet o una computadora ubicado en cualquier lugar.

Superando el proceso de producción artesanal, incipiente, bajo las condiciones aleatorias del medio ambiente, clima, estaciones del año, sin la posibilidad de prevenir, planificar estrategias de mejora continua en la producción de maíz.

Se ha elegido el tema de evaluación y control del Cultivo De Maíz, mediante el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores en el distrito de Huayucachi, debido a que, en este lugar en específico, ubicado en la provincia de Huancayo, región Junín, la producción agrícola predominante. En INEI (2018) publica la producción del maíz del 2017 donde, el maíz amiláceo es de 13990 Tn y el maíz choclo 63554 Tn, de un total nacional de 273604 Tn y de 388861 Tn respectivamente. Recientemente SENASA informó que productores del valle del Mantaro exportaron 52 toneladas de maíz, en el primer trimestre del 2021 para el mercado ecuatoriano, a pesar que están expuestos a las heladas, los insectos vectores y la sequía que es una amenaza permanente para el cultivo de maíz, por tanto, utilizar el prototipo busca reducir las condiciones adversas y optimizar el cultivo de maíz y su productividad (SENASA, 2021).

## **1.2 Formulación Del Problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿Cómo evaluar y controlar el cultivo de maíz, mediante una red Inalámbrica de sensores y actuadores en Huayucachi?

## **1.2.2 Problema Específico**

**1.2.2.1 Problema Específico 1.** ¿Qué parámetros y dispositivos de evaluación y control del cultivo de maíz se utilizan en el diseño de la red inalámbrica de sensores y actuadores?

**1.2.2.2 Problema Específico 2.** ¿Cómo diseñar el prototipo de red inalámbrica, utilizando tecnología XBee, para medir parámetros ambientales y de suelo de cultivo de maíz?

**1.2.2.3 Problema Específico 3.** ¿Cómo la implementación del prototipo evalúa y controla las señales captadas por los sensores y actuadores, para obtener indicadores de las condiciones favorables y adversas que afectan el proceso de cultivo de maíz?

## **1.3 Justificación Teórica**

La presente investigación, tiene el propósito de aplicar los conocimientos científicos y tecnológicos desarrolladas en el campo de las telecomunicaciones y áreas afines, que son variadas y muy avanzadas, como la disponibilidad de módulos de sensores inalámbricos constituido por microcontroladores, algoritmos de programación, dispositivos de comunicación configurables como XBee, de baja tasa de velocidad, costo reducido y bajo consumo de energía, que permite transferir e innovar en otros campos de aplicación como la agricultura, en este caso específico en el proceso de cultivo de maíz. Por lo que se justifica su investigación y promover la modernización, optimización, mejorando los resultados de su competitividad productiva y calidad. Los fundamentos teóricos permiten dimensionar adecuadamente los dispositivos y equipos necesarios para diseñar e implementar el Prototipo WSN.

## **1.4 Justificación Práctica**

Esta tesis explica, describe la evaluación y control del proceso del cultivo de maíz, mediante el diseño e implementación de un prototipo de una red inalámbricas de sensores y actuadores (WSAN), con el fin de optimizar la producción de maíz, como aporte de las telecomunicaciones en la agricultura tecnificada en Huayucachi, solucionar problemas que afectan al cultivo de maíz, por falta de control y evaluación estadística y en tiempo real, donde no existía la forma de medir la temperatura, la calidad y concentración de fertilizante del terreno de cultivo, niveles de humedad o sequedad del terreno, niveles de radiación solar que afectan al cultivo de maíz entre otras condiciones que permitan evaluar y controlar el proceso de forma inmediata, y se logre corregirse de forma oportuna si se encuentra en condiciones extremas y adversas para un adecuado desarrollo del cultivo de maíz. Para tal efecto aprovecharemos los dispositivos de comunicaciones, como los módulos XBee PRO S2C, el protocolo de comunicaciones ZIGBEE basado en el estándar IEEE 802.15.4, Arduino, microcontrolador PIC 18F4550 para conectar el coordinador a la PC mediante una comunicación USB 2.0, posteriormente acondicionar y diseñar una presentación grafica sencillo y amigable de la lectura del proceso de evaluación y control del cultivo de maíz, a través de internet y lograr acceso remoto desde cualquier lugar.

Según Bernal (2010) y Galán Amador (2010) hay tres tipos de justificación teórica, practica y metodológica. Ciertas investigaciones requieren de los tres componentes, otras dos algunas solo un componente.

## **1.5 Objetivos de la Investigación**

### **1.5.1 Objetivo General**

Evaluar y controlar el proceso del cultivo de maíz para mejorar su producción, mediante el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores en Huayucachi.

### **1.5.2 Objetivo Específicos**

**1.5.2.1 Objetivo Específicos 1.** Determinar los parámetros y dispositivos de evaluación y control del proceso de cultivo de maíz para el diseño de una red inalámbrica de sensores y actuadores.

**1.5.2.2 Objetivo Específicos 2.** Diseñar el prototipo de una red inalámbrica utilizando tecnología XBee, basado en módulos de sensores y actuadores, para medir parámetros ambientales y de suelo de cultivo de maíz.

**1.5.2.3 Objetivo Específicos 3.** Implementar el prototipo para evaluar y controlar las señales captadas por los sensores y actuadores para obtener las condiciones favorables y adversas que afectan el proceso de cultivo de maíz.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Marco Filosófico o Epistemológico de la Investigación**

Desde el inicio de la existencia del hombre, por su capacidad innovadora para crear nuevas ideas, estrategias para desarrollar proyectos, buscar soluciones a los problemas, fracasar, lograr resultados exitosos y transformar los medios, los modos de producción para satisfacer sus necesidades primarias y secundarias. En esa lucha constante por la investigación es que ha logrado transformar las materias primas en productos manufacturados de constante mejora y ha desarrollado avances científicos y tecnológicos de alta complejidad y acelerado desarrollo que no se sabe cuál es el límite. En ese contexto de una base epistemológica concierne al “universo del conocer” y la parte doctrinaria de esta investigación fundamentalmente experimental aplicada, radica en el conocimiento de la red inalámbrica de sensores y actuadores el cual es utilizada en el proceso de evaluación y control del cultivo de maíz en el distrito de Huayucachi.

### **2.2 Antecedentes de la Investigación**

Existen algunas tesis que sirven como antecedentes para el presente trabajo de investigación que se mencionan a continuación:

#### ***2.2.1 Investigaciones Internacionales***

Albán León (2019) en su tesis de maestría, “Mejoramiento de un Protocolo de sincronización en redes WSN”, permite conocer el protocolo de sincronización en la red inalámbricas de sensores, que se simula después de definir la ubicación, número y tipos de nodos en la red WSN, a través de un archivo o por la opción aleatoria, para luego obtener la distancia y la suma a cada nodo, para obtener la densidad de la nube de nodos su densidad espectral que produce el ruido blanco Gaussiano, la frecuencia, el espacio recorrido, obtener la atenuación en espacio libre, el tiempo de procesamiento se determina por el número de saltos en cada nodo, hasta el nodo de referencia, la zona de barrido determina la profundidad y los niveles de protocolo HRTS. Mediante el procesador Matlab, permite optimizar el proceso, para comparar el protocolo original y el optimizado y evaluar la diferencias y semejanzas.

Culman Forero (2018) en su tesis de maestría de Telemática, “Método de fusión de datos aplicado a redes inalámbricas de sensores para apoyar la toma de decisiones en la gestión de cultivo de Palma de Aceite”, menciona lo siguiente: No tienen recursos económicos para la toma de decisiones con respaldo. El trabajo de investigación atiende la falta de información agrometeorológica, para la toma de decisiones en la gestión del cultivo de Palma de Aceite. En la suposición que en el entorno agrícola, haya un despliegue de una Red Inalámbrica de Sensores que permita adquirir datos de campo, plantea una fusión de datos que apoya a la gestión de riego, que compromete dos niveles, el primero combina la humedad del suelo, la temperatura del ambiente y la humedad relativa para decidir si se riega o no el terreno de cultivo a través de la inferencia “Dempster-Shafer” y un segundo nivel de evaluación a la que los datos de evapotranspiración, la precipitación y en la decisión de riego en el terreno de cultivo, para calificar la decisión en el entorno de la plantación mediante la Lógica Difusa.

Mediante la simulación se establece el impacto de la gestión del cultivo de palma de aceite, en dos escenarios: Lote de cultivo con riego, con gestión del primer nivel del método, y lote de cultivo sin riego. Los resultados muestran

un incremento del rendimiento del cultivo en un 27%, gracias al método de gestión de riego.

Guaña Moya (2016) en su tesis de maestría, “Diseño de una red de sensores inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura”, el cual diseñó e implementó una red WSN, en configuración estrella del Gateway y los nodos finales, recolectó muestras que guardó en una Base de Datos, cuya información facilita analizar los parámetros de medición, como humedad, temperatura, luminosidad y presión ambiental, así mismo la temperatura y humedad del suelo. Con el análisis de los datos captados se describen los parámetros óptimos de las plantaciones de rosas de 18°C hasta 24°C y en la noche entre 12°C y 14°C, con humedad relativa de 60% a 80% como valores óptimos de humedad, se realiza mediciones dentro y fuera del invernadero, una vez analizadas, de acuerdo a la configuración de los nodos sensores finales y Gateway, se describen condiciones óptimas, buenos y malos para la producción de rosas.

### **2.2.2 Investigaciones Nacionales**

Zegarra Chávez (2020) en su tesis “Diseño de una red inalámbrica de sensores remoto con aplicación en un escenario de selva baja”, menciona lo siguiente: El efecto de la vegetación en las ondas que se propagan y su dependencia de la frecuencia en la señal propagada. Además, describe las características, tipos de la red de sensores que existen, para luego elegir una de las tecnologías para utilizar en el diseño y análisis, plantea los requerimientos iniciales como regulatorios y de aplicación, luego elige el diseño de red inalámbrica de sensado remoto, plantea la topología, arquitectura y diagrama de flujo en la red inalámbrica para datos.

Vladimir Abelardo (2016) en su tesis, “Diseño e implementación de un sistema de monitorización de la calidad ambiental en línea, base de la cuenca del Río Cota Puno”, indica que quienes lograron monitorizar la calidad ambiental de línea base, en la cuenca del río Cota, que visualiza la

concentración grafica de los parámetros del CO<sub>2</sub>, temperatura del agua y PH del agua.

El Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) del Perú, a través del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), inicia el 19 de octubre 2018, la implementación de un sistema Moderno de sensores Remotos, para mejorar la medición de la calidad de los suelos agrícolas y potenciar la competitividad de la producción agropecuaria, en pro a una agricultura inteligente. Con los sensores remotos, el INIA mide las necesidades del cultivo agropecuario en función de la humedad, riego salinidad, temperatura del suelo y de ambiente, nutrientes, velocidad del viento, precipitaciones, acidez, alcalinidad y otros parámetros.

En la figura 1 se observa que este sistema de información opera con una central portátil, compuesta por sensores de humedad, nutrientes, pluviómetro, panel solar, anemómetro, caudalímetro, balance hídrico, control de riego y alarmas tele actuadores, que deben detectar los impactos climáticos, tales como lluvias torrenciales, granizadas, heladas olas de calor y otros parámetros que se implementen. (INIA, 2018)



**Figura 1. Sensores remotos de INIA en fase experimental**  
*Fuente. Obtenido de INIA (2018)*

## **2.3 Bases Teóricas**

### ***2.3.1 Redes inalámbricas en la agricultura de precisión***

Las redes inalámbricas han surgido para cubrir la necesidad de los usuarios de hacer más simple las conexiones de los dispositivos de red, evitando el cableado que es más confiable, seguro, de mayor velocidad, pero las redes inalámbricas han evolucionado y están disponibles para diferentes estándares, coberturas, aplicaciones y velocidad de datos. (Fruticultura, 2019)

El uso de las redes inalámbricas de sensores (WSN), permite monitorizar el medio ambiente, recoger medidas directamente del terreno de forma remota, en tiempo real y otras ventajas que surgen del desarrollo constante de la tecnología. Favorece el despliegue en lugares sin infraestructura, como los viñedos de extensiones amplias, con sistemas de monitoreo en un entorno de agricultura de precisión, en las etapas de crecimiento, utilizando estándares industriales como Zigbee, dentro el concepto de agricultura inteligente (Smart Farming), que permite el monitoreo ambiental, control de sistemas automáticos de riego, existen propuestas de la IETF (Internet Engineering Task Force), estandarizar protocolos específicos para WSN sobre IPV6, para facilitar el direccionamiento de muchos nodos desplegadas en áreas agrícolas. (Torres et al, 2012)

### ***2.3.2 Clasificación de las redes inalámbricas***

Las redes inalámbricas se clasifican de acuerdo al alcance de cobertura y la velocidad de datos como se muestra en la figura 2.

La clasificación de redes inalámbricas de acuerdo a la cobertura:

- Redes inalámbricas de área del cuerpo WBAN
- Redes inalámbricas de área personal WPAN

- Redes inalámbricas de área local WLAN
- Redes Inalámbricas de área metropolitana WMAN
- Redes inalámbricas de área amplia WWAN
- Redes inalámbricas Móviles GSM, GPRS, 4G LTE y 5G

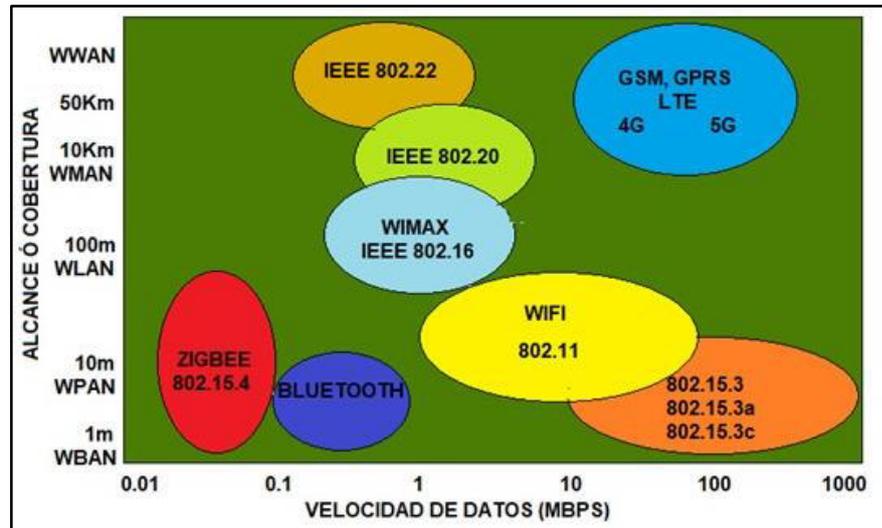


Figura 2. Clasificación de redes Inalámbricas

Fuente. Elaboración propia

Las redes WPAN, operan en espacio personal (Personal Operating Space - POS) no requiere infraestructura. Las redes personales WPAN se dividen en redes de mediana y baja velocidad, el bluetooth con estándar IEEE 802.15.3 para transmitir audio y video para el parlante y salida de TV, conectar teclados, mouse y otros de mediana velocidad. La red de baja velocidad hasta 250 Kbps ZigBee con el estándar IEEE 802.15.4, apto para conectar sensores y actuadores, para sistemas de seguridad, control de iluminación, lectura de instrumentos de medición de servicios de gas, agua, electricidad, riego automatizado entre otros. (Dignani, 2011)

### 2.3.3 El maíz Amiláceo

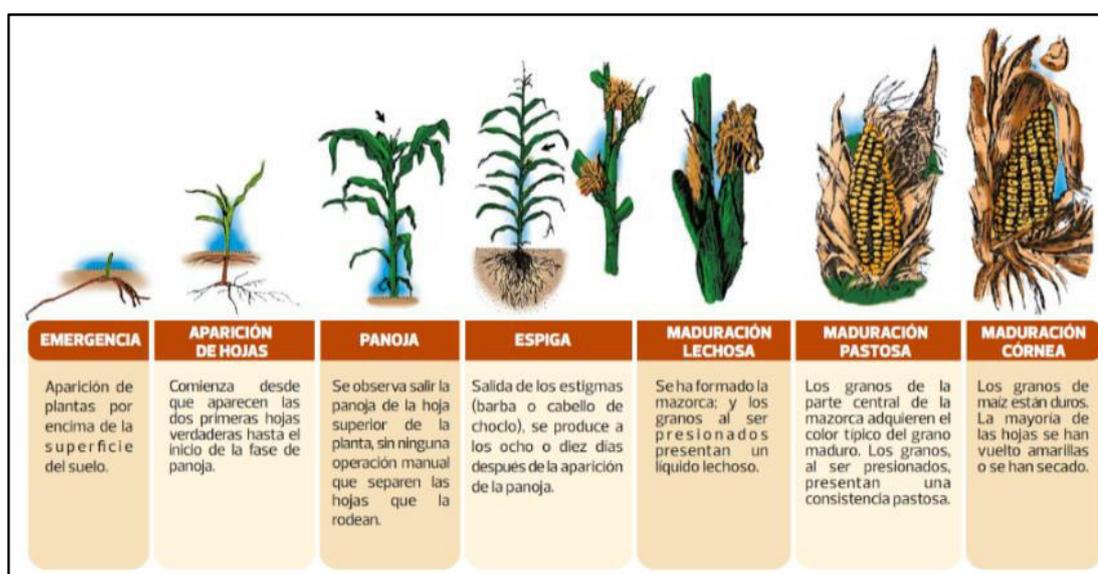
En el mundo se cultiva maíz con un futuro muy prometedor, por sus múltiples utilidades como la alimentación humana y animal, fabricación de sus derivados como el etanol, almidón, malto dextrinas, glucosa, biocombustibles,

bioplásticos, fertilizantes, biogás y otros derivados (Carbajal y Caviedes, 2019).

En el Perú el cultivo de maíz es uno de los más importantes, por su rol activo de la economía local, regional y nacional. En la región Junín es de los mayores productores de maíz en choclo, que abastece el mercado de la capital Lima. (Gamarra Sánchez, 2020)

En el estudio de la diversidad de maíz, en la sierra central del Perú, Junín, Huancavelica y Ayacucho, realizado por Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), se encuentra San Gerónimo Huancavelicano, San Gerónimo, Piscorunto, Paro, Morocho, Kulli, Huancavelicano, Granda, Cuzco, Confite Puntigudo, Confite Morocho, Chimlos y Chullpi, se observaron 17 características asociadas con cuatro principales componentes, de lo que finalmente se determina 12 grupos de tipos de maíz. (EPG-UNALM, 2010)

En la figura 3 se muestra el estudio científico de la relación entre los factores climáticos y los ciclos de vida del maíz Amiláceo definidos como la Fenología del maíz. (Senamhi, 2017)



**Figura 3. Fenología del cultivo de maíz Amiláceos**  
Fuente. Senamhi (2017)

### 2.3.4 Estándar IEEE 802.15.4

El año 2000, especialistas en estándares de Zigbee y IEEE 802, dieron a conocer la necesidad de un nuevo estándar de bajo consumo de energía y bajos costos en ambientes industriales y domésticas. Luego el comité “NesCom”, para nuevos estándares IEEE, designa el grupo de trabajo para desarrollar el nuevo estándar baja tasa de transmisión en redes inalámbricas para áreas personales (LR-WPAN), donde surge el estándar 802.15.4, cuyas características se muestran en el cuadro 1. (UDLAP, 2003)

**Cuadro 1. Propiedades de IEEE 802.15.4.**

Propiedad	Rango
Tasa de transmisión de datos y Banda de frecuencia	20kbps: 868 MHz; 40kbps: 915 MHz; 250kbps: 2.4 GHz
Cobertura	10 – 20 m
Latencia	Menor de 15 ms
Canales	2.4 GHz: 16 canales; 868/915 MHz: 11 canales
Banda de frecuencia	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz
Direccionamiento	Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE
Canal de acceso	CSMA-CA y rasurado CSMA-CA
Temperatura	Rango de temperatura industrial -40°C a +85°C

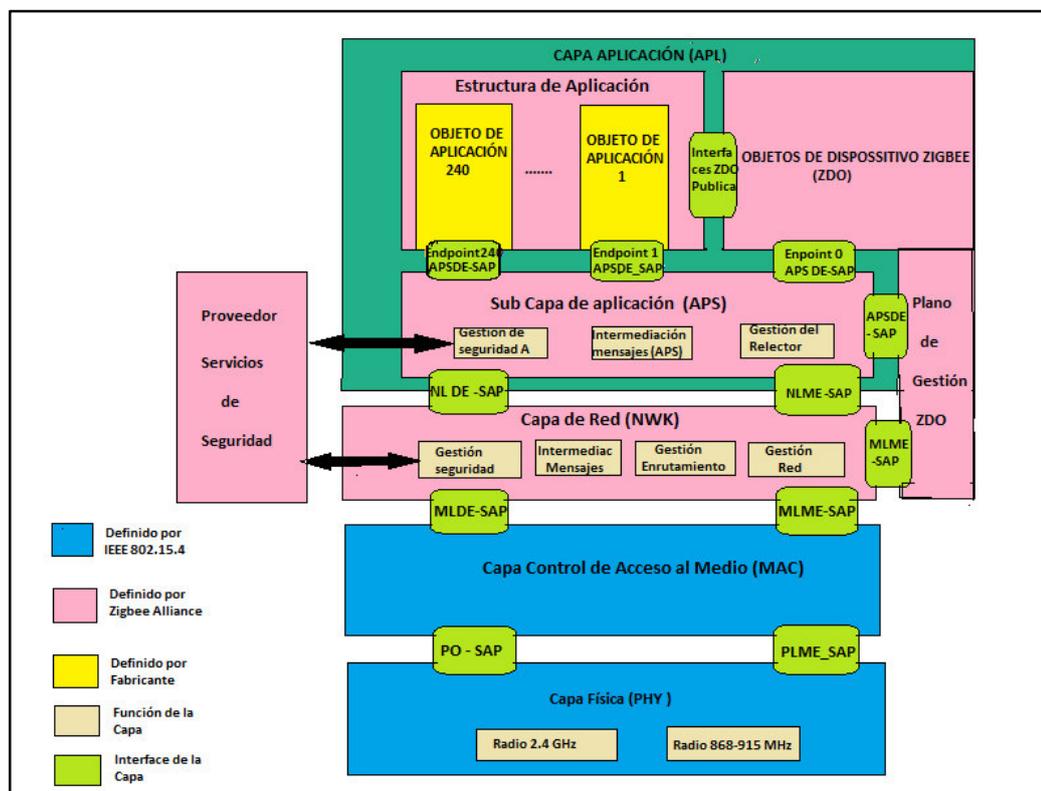
*Fuente. UDLAP (2003)*

### 2.3.5 Protocolo Zigbee

Es un estándar definido por un conjunto de protocolos para constituir redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos, opera en las bandas de 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz, transfiere datos hasta 250Kbps.

Estándar desarrollado por alianza Zigbee, surge en el año 2002, que desarrolla el protocolo IEEE 802.15.4 de las dos primeras, la capa física (PHY) y la subcapa de acceso al medio (MAC), agrega la capa de red y de aplicación, que agrupa a cientos de fabricantes de semiconductores y equipos, además de desarrolladores de software.

En la figura 4 se observa el esquema de la arquitectura de la Pila de Zigbee y las capas de cómo está formado. Las capas físicas (PHY) y acceso al medio (MAC), está definida por el estándar IEEE 802.15.4, estas capas manejan la operación de los niveles bajos de la red, tales como direccionamiento y transmisión / Recepción de mensajes, y las capas de red y aplicación son definidas por Zigbee Alliance; luego solo los objetos de aplicación son especificados por el fabricante o ejecutor cuando se trabaja en aplicaciones privadas.



**Figura 4. Arquitectura de la pila Zigbee**  
Fuente. Moreno y Ruiz Fernández (2007)

Capa de aplicación: Capa superior de la pila de protocolo Zigbee, con programación orientado a objetos, con estructura de Aplicación, el objeto del dispositivo Zigbee y la subcapa de soporte de Aplicación.

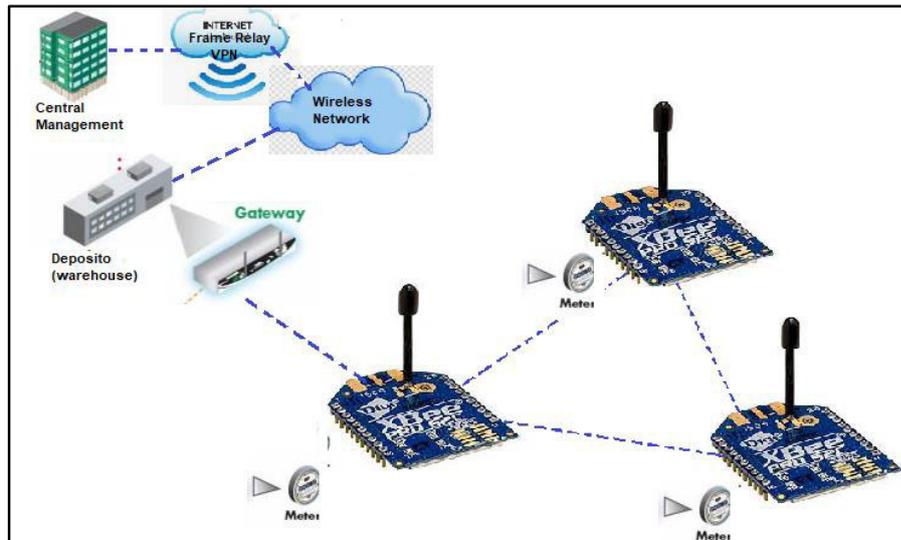
La capa de aplicación proporciona una descripción como crear un perfil en la pila ZigBee para garantizar que los perfiles se puedan generar de forma consistente, así mismo especifica una gama de datos estándar para perfiles, formatos de frames para conducir datos y la construcción de par de valores clave para desarrollar perfiles simples en base a atributos.

Subcapa de soporte de Aplicación: Proporciona un servicio de datos para la aplicación y perfiles del dispositivo Zigbee. Así mismo proporciona servicio administrativo para mantener los enlaces y el almacenamiento de la tabla de enlace.

La especificación Zigbee define la capa de red (NWK) y las tramas de la capa de aplicación (APL). La capa de Red cuida la estructura de la red, ruteo y seguridad. Las tramas de la capa de aplicación consisten de la subcapa Soporte Aplicación (APS), el dispositivo Zigbee y aplicaciones definidas por el usuario le dan al dispositivo su funcionalidad específica. (Moreno y Ruiz Fernández, 2007)

### **2.3.6 Nodos Zigbee**

El Zigbee reemplaza el cable por una comunicación serial inalámbrica, mediante configuraciones punto a punto y punto multipunto, el cual permite que todos los dispositivos se encuentren conectados entre sí. (ver figura 5)



**Figura 5. Conexión XBee típico**  
 Fuente. Elaboración propia.

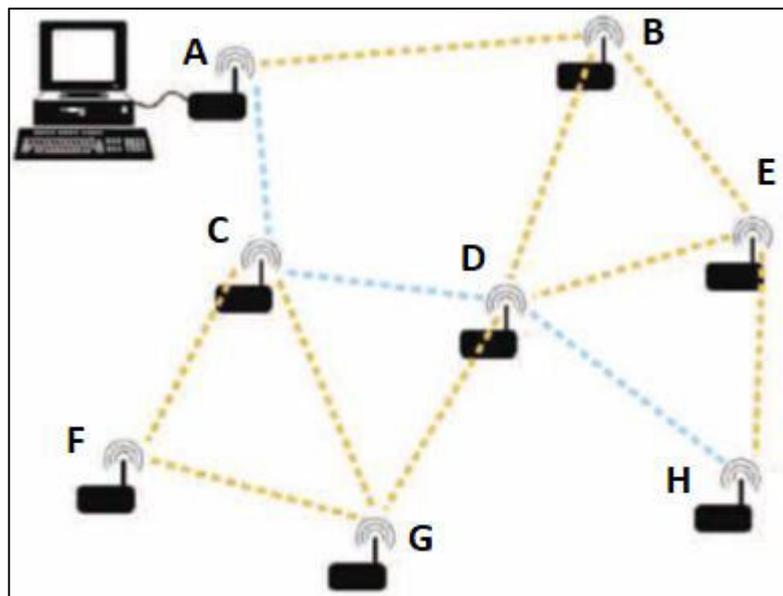
La red Zigbee está formado por tres elementos: Un solo nodo Coordinador, nodos Routers y nodos End Points (dispositivos finales).

- **Nodo Coordinador:** Tiene la función de formar una red, responsable de establecer el canal de comunicación para toda la red y del PAN ID (identificador de red) esto se logra mediante la configuración con aplicativo XCTU, el coordinador forma la red y se pueden unir a ella los Routers y los End Points. Una vez formado la red, el coordinador funciona como un router, puede realizar el ruteo de paquetes y ser una fuente o destino para paquetes de datos.
- **Nodo Router:** Es el nodo que mantiene y crea información acerca de red, para determinar la mejor ruta para transmitir los paquetes de información, debe estar unido a la red Zigbee, para operar como router transmitiendo paquetes de otros nodos ya sea routers o de dispositivos finales.
- **Nodo End Device (Dispositivo Final):** Interactúa siempre a través de su nodo padre, un coordinador o un router, no puede enviar información entre dos dispositivos finales contiguos, son alimentados con, baterías

y su consumo es menor debido a que no tiene que realizar la función de enrutamiento. (REFERENCIA)

### 2.3.7 Red Mesh con XBee

La red Mesh (Malla), tienen mayor distancia de cobertura, porque poseen mayor potencia en la señal y es posible crear redes más complejas. En la figura 6 se muestra una típica red Mesh, donde se quiere transmitir información del nodo A hacia el nodo H, si la distancia entre ambos nodos es muy grande, entonces mediante la red Mesh se puede comunicar ambos nodos A y H, así cada nodo ubicado en medio de la ruta de comunicación A, C, D y H funciona en modo transparente, donde lo que llega a cada nodo es retransmitido hacia el nodo A, así los módulos XBee generan automáticamente una red entre ellos, sin la necesidad de intervención manual alguna, permitiendo la reparación de la red en caso de fallas en algún nodo, así mismo se autoconfigura la mejor ruta para la transmisión de un determinado paquete de datos. (REFERENCIA)



**Figura 6. Red MESH para módulos XBee**

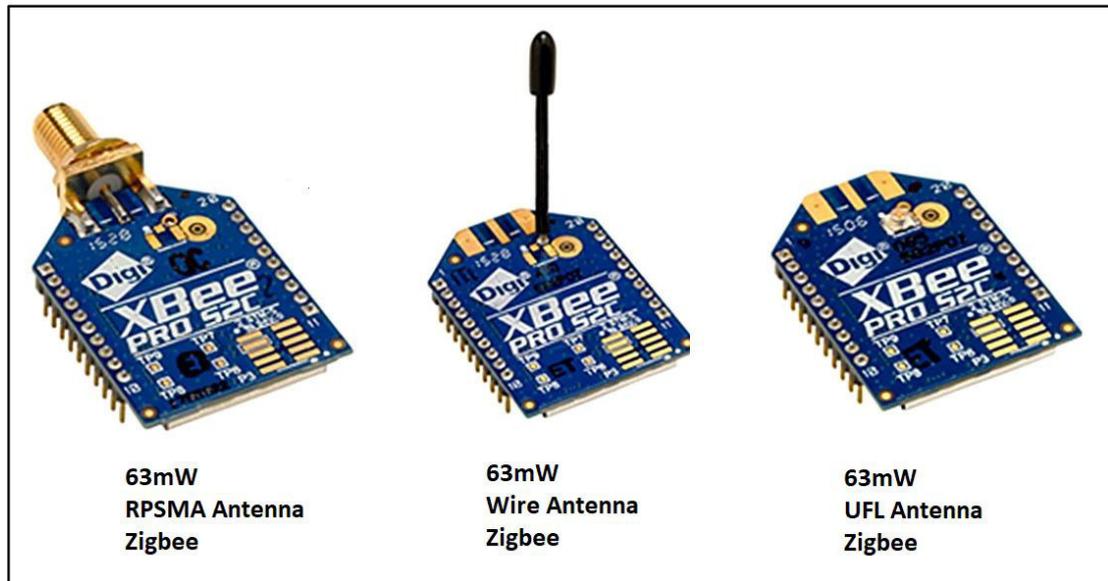
*Fuente. Elaboración propia*

### **2.3.8 Módulo XBee PRO S2C**

El XBee-Pro S2C es un módulo de comunicación de bajo costo y bajo consumo de energía que permite realizar conexiones inalámbricas entre dispositivos electrónicos. Trabaja con frecuencias hasta 2.4Ghz y permite crear redes de conexión punto a punto, punto a multipunto, y malla. El módulo XBee PRO S2C posee un alcance de cobertura de 90 metros en lugares cerrados y hasta 3200 metros en lugares abiertos con línea vista y en condiciones favorables (Ver ANEXO D). Se detalla las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de trabajo: hasta 2.4 GHz
- Velocidad de datos (máx): 250.000b/s
- Técnica de modulación: DSSS
- Rango de alcance: Hasta 3200 metros
- Sensibilidad: -101 dBm
- Voltaje de la fuente: 2.7 V ~ 3.6 V
- Corriente – Recepción: 31 mA
- Corriente – Transmisión: 120 mA
- Interfaz de comunicación: SPI, UART
- Capacidad de memoria: 32kB Flash, 2kB RAM
- Temperatura de operación: -40°C ~ 85°C
- Bajo consumo de corriente (1uA en modo sleep)
- Actualización de firmware mediante UART, SPI o Inalámbrico.

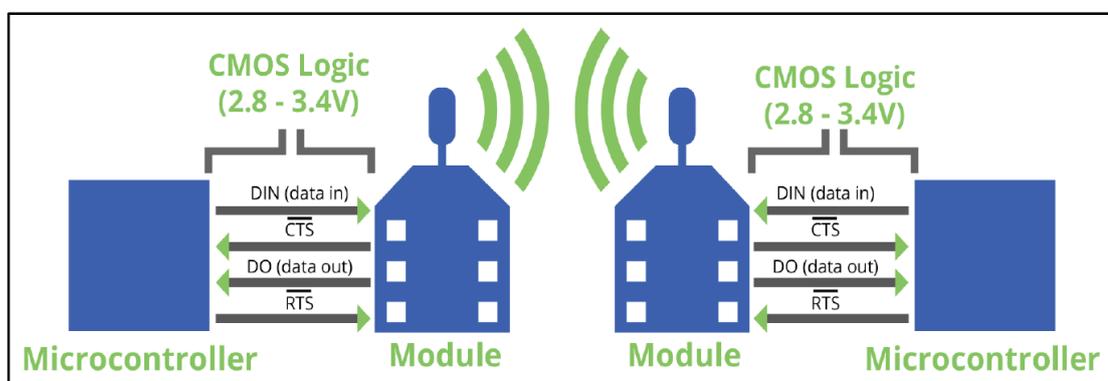
Los tipos de antena de los módulos XBee PRO son: RPSMA que permite conexión con una antena exterior, Wire antena física anexada al módulo y UFL antena tipo chip instalada en la misma placa como se observa en la figura 7.



**Figura 7. Módulos XBee PRO S2C por tipo de Antena**

*Fuente. Elaboración propia*

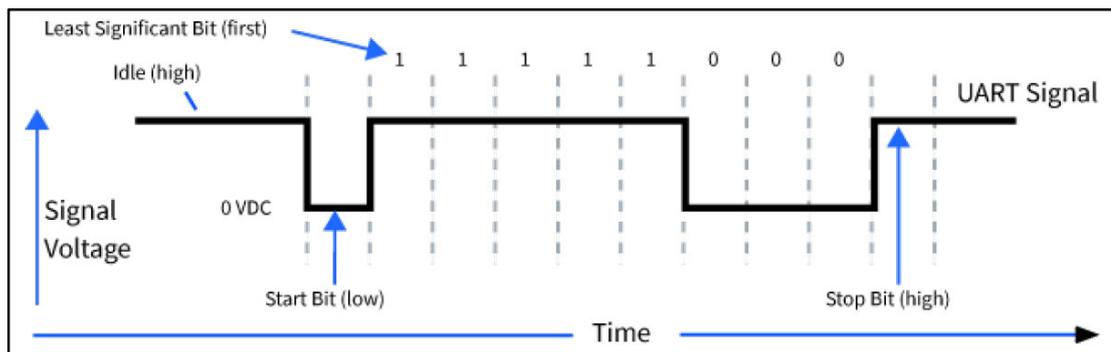
Los dispositivos que tienen una interfaz UART (Protocolo de comunicación Serial Asíncrona) se conectan directamente de forma serial al módulo XBee PRO como se muestra en la figura 8, el flujo de datos del sistema en un entorno interfaz UART. Para que se establezca la comunicación serial, se debe configurar la interfaz UART de ambos dispositivos (el microcontrolador Freescale MC9508QE32CFT y el módulo XBee PRO con el RF EM357 como se observa en el ANEXO F) con configuraciones compatibles velocidad en baudios (baud rate), inicio bits (start bits), bits de parada (stop bits), bits de datos (data bits) y paridad (parity).



**Figura 8. Transmisión y recepción del módulo XBee PRO**

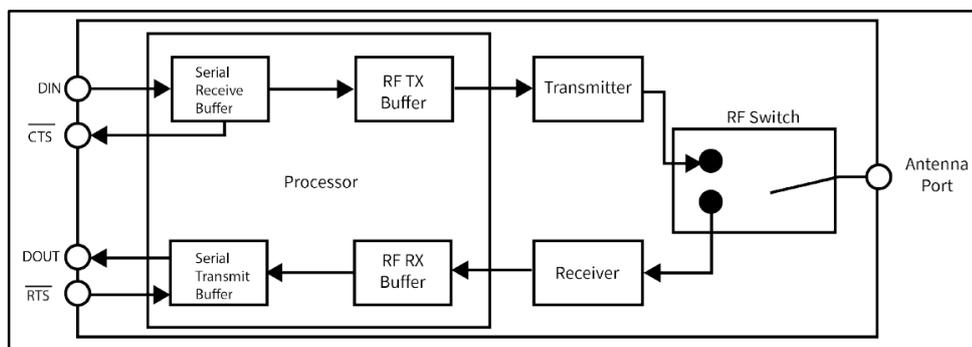
*Fuente. DIGI (2020)*

Cada byte de datos consiste de un bit de inicio (Low), 8 bits de datos y un bit de parada (High). En figura 9 se muestra el patrón de datos de bits serial que pasan a través de los dispositivos (el microcontrolador y el módulo RF XBee PRO), además se observa el paquete de datos UART en hexadecimal 0x1F (en decimal 31 y en binario “00011111”) tal como se transmite a través del dispositivo.



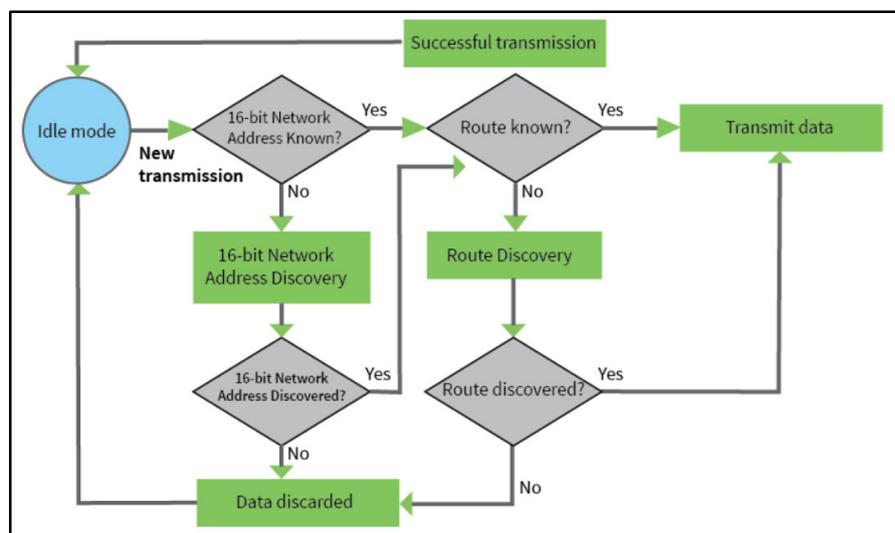
**Figura 9. Paquetes de datos seriales UART**  
Fuente. DIGI (2020)

El módulo RF XBee PRO Zigbee mantiene los búferes internos para recopilar datos seriales. El búfer de recepción en serie recopila los caracteres entrantes y los retiene hasta que el dispositivo puede procesarlos. El búfer de transmisión en serie recopila los datos que recibe a través del enlace de RF hasta que transmite esos datos por el puerto serie. En la figura 10 muestra el proceso de los búferes del dispositivo recopilar los datos seriales recibidos y transmitidos.



**Figura 10. Transmisión y recepción del módulo XBee PRO S2C**  
Fuente. DIGI (2020)

Antes de transmitir los datos, el módulo XBee PRO asegura que una dirección de red de 16 bits y la ruta al nodo de destino sea establecido. Si no conoce la dirección de red de destino de 16 bits realiza la detección de direcciones de red. Si no conoce o no detecta la ruta, se activa la búsqueda de ruta del nodo de destino. Si un dispositivo con una dirección de red conocida no es descubierto, se descarta el paquete datos. El dispositivo transmite los datos una vez que se establece una ruta. En la figura 11 muestra El diagrama de flujo de Transmisión del XBee PRO.



**Figura 11. Diagrama de Flujo de Transmisión del XBee PRO**  
Fuente. DIGI (2020)

Cuando los datos de Zigbee se transmiten de un nodo a otro, el nodo de destino transmite un nivel de red de reconocimiento a través de la ruta establecida hasta el nodo de origen. Este bit de reconocimiento indica al nodo de origen que el nodo de destino recibió el paquete de datos. Si el nodo fuente no recibe un acuse (acknowledgment) de recibo de la red, retransmite los datos. Es posible en raras circunstancias que el destino reciba un paquete de datos, pero si la fuente no recibe el acuse (acknowledgment) de recibo de la red. En este caso, la fuente retransmite los datos, que pueden hacer que el destino reciba el mismo paquete de datos varias veces. Los módulos XBee no filtran paquetes duplicados para eliminar. (DIGI, 2020)

### 2.3.9 Cálculo Parámetros de enlace de módulos XBee PRO

#### A. Cálculo de Alcance.

Para determinar la distancia de alcance entre dos nodos, entre un nodo y el coordinador, tomando en cuenta variables físicas como margen de desvanecimiento, atenuación, sensibilidad de los equipos y la frecuencia de operación, utilizando la fórmula siguiente: (Vela, 2016)

$$D = 10^{\left(\frac{P_{tx} - F_m - P_r - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(f) + 30 \cdot n - 32.44}{10 \cdot n}\right)} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

**D:** Distancia estimada entre dos nodos (m)

**P<sub>tx</sub>:** Potencia del transmisor (dBm)

**P<sub>r</sub>:** Sensibilidad del receptor (dBm)

**n:** Exponente de pérdidas por trayectoria

**F<sub>m</sub>:** Margen de desvanecimiento (dBm)

**f:** Frecuencia de operación de la señal (MHz)

El (**n**) es exponente de pérdida por trayectoria es la reducción de la densidad de potencia (Coeficiente de atenuación) de la onda electromagnética en el espacio libre.

El (**F<sub>m</sub>**) es margen de desvanecimiento, en el diseño de una red inalámbrica es necesario considerar un margen de potencia adicional, por los efectos climáticos de atenuación, valor que se determina de forma experimental.

La (**P<sub>L</sub>**) Perdida de potencia en la trayectoria de la señal. En un enlace inalámbrico, para una distancia máxima entre dos nodos separados manteniendo la fiabilidad de comunicación en la red. La pérdida de la potencia en la trayectoria se calcula con:

$$P_L = P_o - 10 * 2 * \log_{10}(f) - 10 * 2 * \log(L) + 27.56 \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

**P<sub>L</sub>**: Potencia de la señal (dBm) a una distancia L de la antena

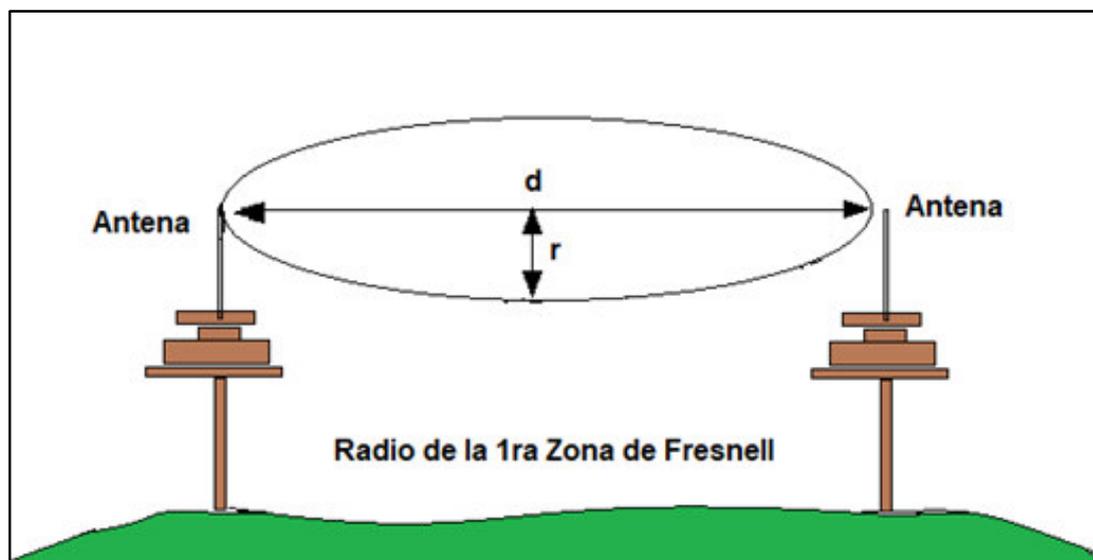
**P<sub>o</sub>**: Potencia de la señal (dBm) a la distancia 0 de la antena

**f**: Frecuencia de la señal (MHz)

**L**: Distancia de la señal desde la antena (m)

## B. Cálculo De La Zona De Fresnell.

El enlace entre dos nodos de WSAN con distancias óptimas, es necesario establecer las alturas de los nodos, para evitar pérdidas por obstáculos presentes en el terreno. El cálculo de la zona de Fresnell, el radio de la primera zona de Fresnell nos asegura la comunicación inalámbrica, consiste en el volumen de espacio de la onda electromagnética entre el emisor y receptor, de modo que el desfase no supere los 180° en el volumen de ondas como se muestra en la figura 12.



**Figura 12. Radio de la 1ra Zona de Fresnell**

Fuente. Vela (2016)

La 1ra zona de Fresnell, tiene relación con la fase mínima que se produce para el rayo que une en línea recta el emisor y receptor. Se calcula mediante:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d}{4*f}} \dots\dots\dots (3)$$

Donde.

**r:** Radio óptimo (m) de la 1ra zona de Fresnell

**d:** Distancia entre dos nodos (Km)

**f:** Frecuencia de la señal (GHz)

### C. Cálculo del indicador de potencia de señal recibida (RSSI).

El parámetro RSSI (Received Signal Strength Indicator), utilizado para medir la potencia en la antena del módulo XBee receptor, fabricado por Digi, que utiliza el protocolo Zigbee relacionado con los paquetes de información recibida, utilizado en la comunicación WiFi y Bluetooth. La referencia que se usa es 1 mW y la unidad dBm.

La pérdida de propagación, para una distancia  $d_i$  desde el nodo transmisor es:

$$P_L(d_i)[dB] = P_L(d_o)[dB] + 10 * n * \log\left(\frac{d_i}{d_o}\right) \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

**$P_L(d_o)$ :** Pérdida de propagación a una distancia  $d_o= 1m$  de referencia

**n:** Constante que depende del medio y los obstáculos que hay entre nodos, en espacio libre  $n=2$ , en caso real, la propagación de señal, se afecta por la reflexión, difracción y dispersión.

Su medición empírica esta dado por:

$$n = \frac{(P_L(di) - P_L(do))}{10 * \log\left(\frac{di}{do}\right)} \dots\dots\dots (5)$$

La ecuación (5) permite calcular n midiendo la potencia en las antenas y la distancia que separa los nodos.

Luego el indicador de la potencia de la señal recibida es:

$$RSSI [dBm] = -10 * n * \log(d) + A [dBm] \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

**n:** Es la constante de pérdida

**d:** Distancia entre nodo transmisor receptor en (m)

**A:** Es el valor de RSSI en la antena receptora a la distancia de 1 metro de la antena transmisora.

$$D = 10 - \frac{(RSSI - A)}{10 * n} \dots\dots\dots (7)$$

Para calcular la distancia de separación de dos módulos XBee se utiliza el Software XCTU desarrollado por empresa DIGI para módulos XBee PRO Serie 2 con antena monopolo, que cuenta con la herramienta denominada "Range TEST" que permite leer el parámetro RSSI entre dos o más nodos de la red. (Ver figura 13)

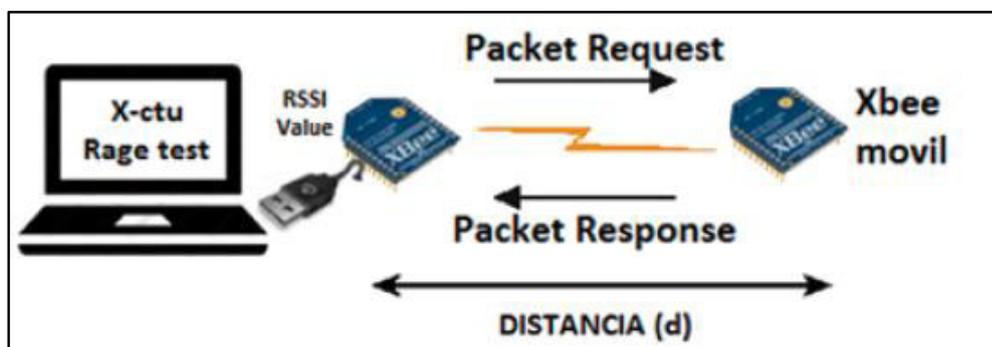


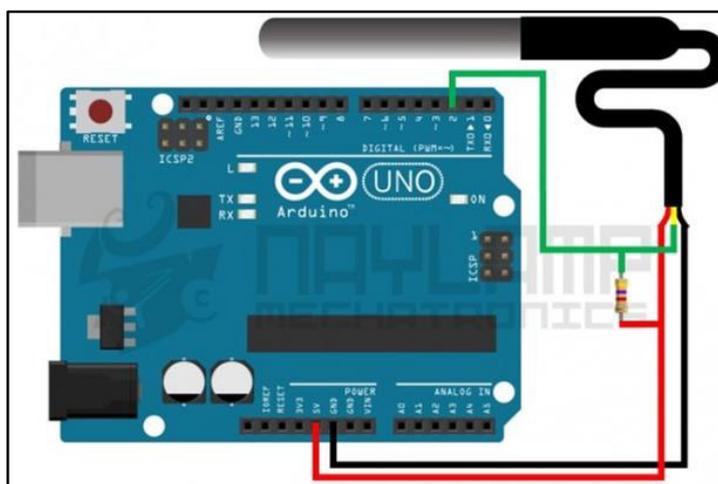
Figura 13. Esquema de conexiones y enlaces  
Fuente. Vara et al. (2015)

El Software XCTU envía paquetes de información por el módulo XBee conectado a la computadora hacia el módulo XBee ubicado a una distancia conocida y muestra el valor de RSSI del último paquete recibido. (Vara et al., 2015)

### 2.3.10 Sensor de Temperatura Digital DS18B20

El sensor digital DS18B20 de temperatura utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse con la plataforma Arduino por un solo pin de datos. El sensor DS18B20 es fabricado por la empresa Maxin Ingrated, su presentación del sensor viene dada en tubo de acero inoxidable que resiste al agua, este sensor puede medir temperatura desde  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ , con una resolución de 9 bits a 12 bits a programar. (Ver figura 14)

El direccionamiento de cada sensor es único de 64 bits definida por fabricante, mediante la dirección se le reconoce al dispositivo, que está conectado en el bus 1-Wire puede conectarse más dispositivos sensores.

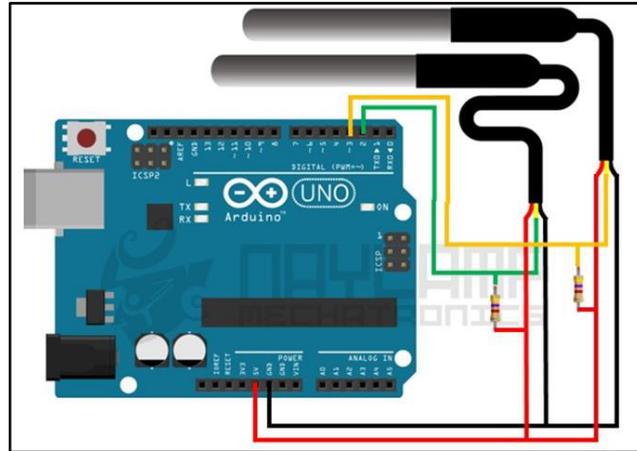


**Figura 14. Sensor Digital de temperatura DS18B20**

*Fuente. Elaboración propia*

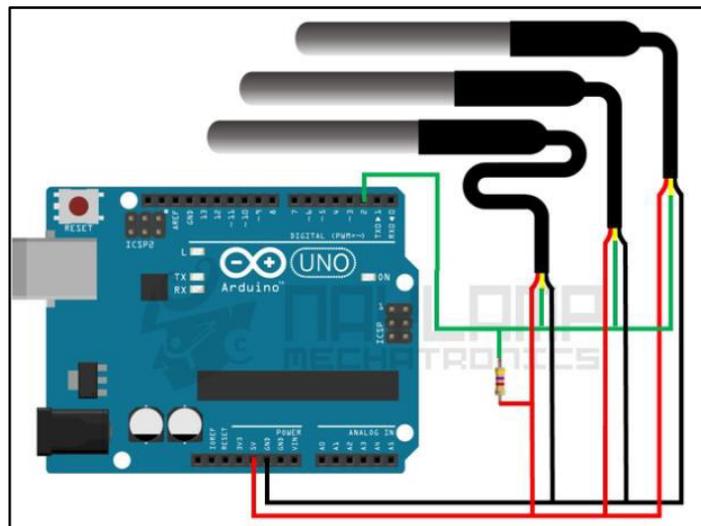
En la conexión en Arduino de varios sensores de temperatura DS18B20 se cuenta con dos opciones:

La primera opción es conectar cada sensor a un pin de datos diferente del Arduino, así se tiene dos sensores conectados a 2 pines digitales en el Arduino como se observa en la figura 15.



**Figura 15. Conexión de 2 sensores en Arduino**  
Fuente. Elaboración propia

La segunda opción es usar el mismo pin datos para todos los sensores, es decir todos conectados al mismo bus 1-Wire y para diferenciar se utiliza la identificación o dirección que posee cada dispositivo sensor, en el caso DS18B20 se requiere reconocer su dirección que es única asignada de fábrica. (Ver figura 16)



**Figura 16. Conexión de varios sensores en Arduino.**  
Fuente. Elaboración propia

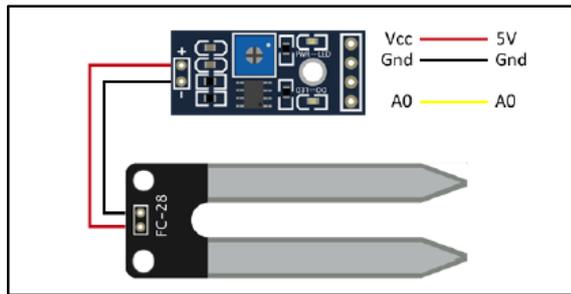
### **2.3.11 Sensor de humedad de suelo HL-69**

El sensor HL-69 mide la humedad del suelo por variación de la conductividad eléctrica, se utiliza en sistemas de riego para detectar el instante de activación y desactivación del actuador de riego. Este dispositivo se compone de dos partes: el sensor propiamente dicho, que consiste en dos terminales sobre un PCB con forma de puntas que se insertan en el suelo y la placa de acondicionamiento de señal que procesa las señales provenientes del sensor para entregarlas a otro sistema digital o analógico como se visualiza en la figura 17. (Geekfactory, 2022)

La lectura digital obtenida a una resolución de 10 bits va desde 0 DEC sumergido en agua, hasta 1023 DEC en seco en aire, en suelo húmedo la lectura varía de 600 a 700 DEC, en suelo seco la lectura será de 800 hasta 1023 DEC, para activar la salida digital se ajusta con el potenciómetro de acuerdo a la necesidad de humedad. (DITECNOMAKERS, 2018)

Las características del sensor de humedad de suelo HL-69 son:

- Salida no calibrada, el usuario debe encontrar los puntos de funcionamiento óptimos para su aplicación.
- Voltaje de alimentación: 5 VDC.
- Sensor de humedad en suelo basado en conductividad eléctrica.
- Ideal para mediciones en suelo.
- Basado en el integrado comparador LM393.
- Salida analógica y digital.



**Figura 17. Módulo de humedad de suelo HL-69**  
Fuente. Elaboración propia

### 2.3.12 Sensor de Temperatura Ambiental y Humedad Relativa STH31

El sensor digital de temperatura ambiental y humedad relativa SHT31, del fabricante “SENSIRION The Sensor Company”, permite realizar mediciones muy precisas a bajo costo y posee mejores prestaciones respecto a los sensores DHT11 y DHT22, como mejor resolución, mayor precisión y un empaque más compacto. Utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y entre otros. (Ver figura 18)

Las características del sensor STH31 son:

- Voltaje de Operación: 2.4V a 5.5V DC
- Interfaz de comunicación: I<sup>2</sup>C con velocidad hasta 1MHz
- Dirección I<sup>2</sup>C: 0x44
- Rango de trabajo Temperatura: -40° a 125°C
- Resolución Temperatura: 0.015°C
- Precisión Temperatura: 0.2°C
- Rango de trabajo Humedad: 0 a 100% RH
- Resolución HR: 0.01 %RH
- Precisión HR: 2% RH
- Tiempos de muestreo rápidos



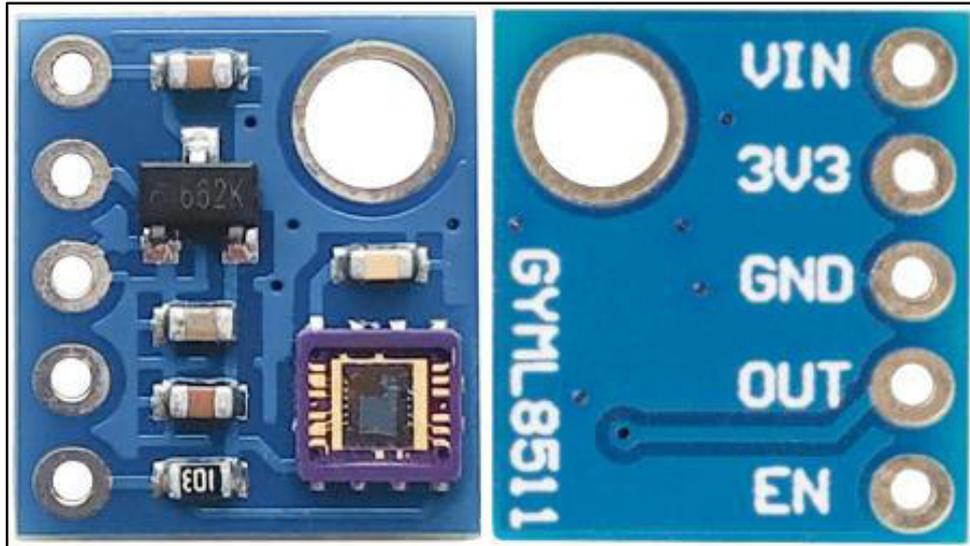
**Figura 18. Módulo SHT31**  
 Fuente. Elaboración propia

### **2.3.13 Sensor de Radiación UV GYML8511**

El módulo GYML8511 es un sensor de radiación UV del fabricante “LAPIS SEMICONDUCTOR”, entrega una señal analógica que depende de la cantidad de luz UV que detecta, con una longitud de onda entre 280-390nm, este rango cubre tanto al espectro UV-B (280-315nm) como al UV-A (315-400nm). La salida analógica está relacionada linealmente con la intensidad UV ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ), puede ser conectada a un microcontrolador o Arduino para ser digitalizada por un convertidor ADC como se observa en la figura 19. (MakerElectronico, 2021)

Las características del sensor GYML8511 son:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Salida analógica
- Longitud de onda: 280-390nm
- Consumo ultra bajo de energía
- Aplicaciones Mete reológicas, cuidado de la piel, medición industrial de nivel UV.



**Figura 19. Módulo de Radiación UV GYML8511**  
 Fuente. MakerElectronico (2021)

### **2.3.14 Electroválvulas FPD-270A**

La electroválvula FPD-270A es una válvula solenoide de control de flujo de 12VDC que se conecta a una tubería de 1/2" de rosca interna, el flujo de agua mantendrá cerrado hasta que se le apliquen 12VDC a los contactos que se encuentran en la parte posterior de la válvula solenoide como se observa en la figura 20.

Las especificaciones de la electroválvula FPD-270A son:

- Voltaje: 12 VDC
- Potencia nominal: 5 W
- Presión: 0.02-0.8Mpa
- Modelo de funcionamiento: Normalmente cerrado (NC)
- Conexión: 1/2"
- Tipo de rosca: 1/2" en la entrada y en la salida
- Temperatura del fluido: 0-100 °C
- Uso: agua y fluidos de baja viscosidad
- Número de aperturas: Mayor de 1,000,000 veces
- Material: Plástico



**Figura 20. Electroválvula FPD-270A**  
*Fuente. Elaboración propia*

### **2.3.15 Arduino UNO**

Es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328P. Posee 14 pines entre entradas y salidas digitales (6 pines se usan como salidas PWM), 6 pines como entradas analógicas, un cristal de oscilador de 16 MHz, una interfaz de comunicación USB, terminales de alimentación, unos pines ICSP y un pulsador de Reset. Se conecta a una computadora con un cable USB o alimentado con un adaptador de CA a CC o una batería externa. La distribución de sus pines se detalla en la figura 21, el diagrama completo del Arduino se observa en el ANEXO A.



### 2.3.16 Microcontrolador PIC 18F4550

El microcontrolador PIC 18F4550 es fabricado por la empresa Microchip, posee una gran cantidad de memoria RAM para almacenamiento en búfer y en memoria de programa. Este microcontrolador es apropiado para desarrollar proyectos de alto rendimiento y eficiente, gracias a las mejoras notables respecto a los otros microcontroladores PIC, como la interfaz USB 2.0 integrada. Pertenece a la gama media – alta de Microchip, de 8 bits con arquitectura Harvard lo que indica que opera por separado el bus de datos y el de instrucciones (Ver ANEXO B). Cuenta con 5 puertos los cuales van desde A hasta el E: En el puerto A tiene 6 bits (A0 al A5), el puerto B, C y el D disponen de 8 bits (B0 al B7, C0 al C7, D0 al D7) y el puerto E dispone de 3 bits (E0 al E2) como se observa en el esquema de la figura 22.

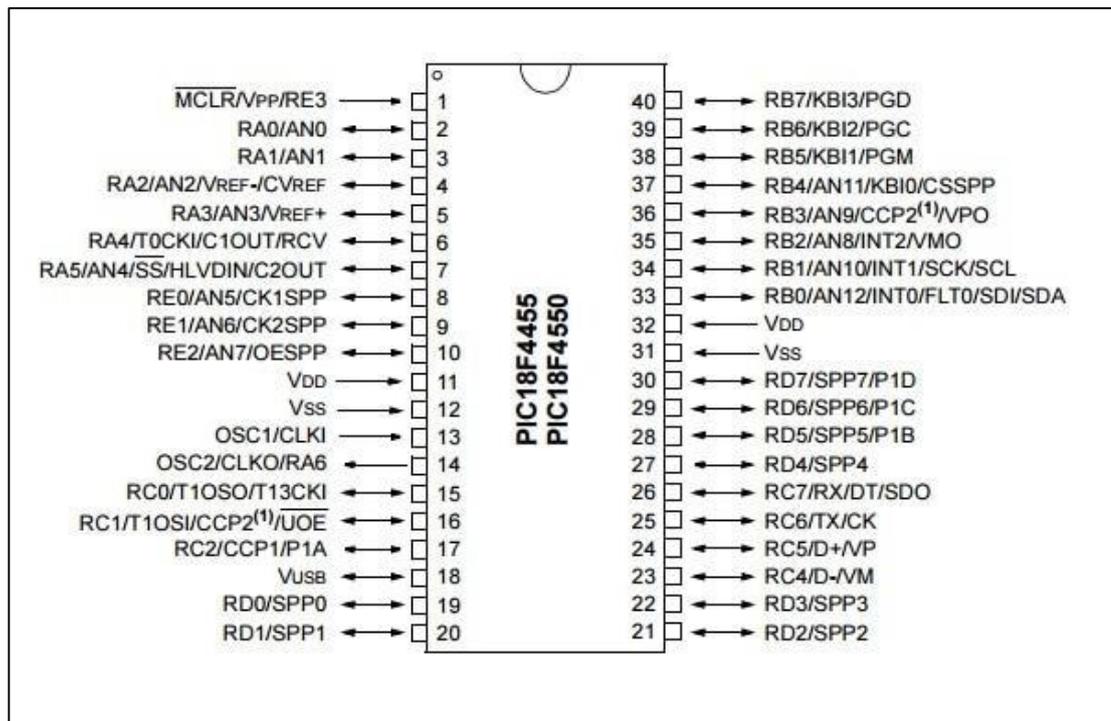


Figura 22. Distribución de pines del Microcontrolador PIC 18F4550

Fuente. Elaboración propia

### 2.3.17 LabVIEW

Es un entorno de programación orientado al desarrollo de aplicaciones de ingeniería, análogo a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC, LabVIEW se diferencia de dichos programas por que emplea la programación gráfica, conocido como lenguaje G, para desarrollar programas en diagramas de bloques resultando más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

LabVIEW cuenta una amplia gama de librerías de funciones, incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control e instrumentación, y comunicación serie pudiendo realizar análisis y almacenamiento de datos. Adicionalmente posee herramientas que facilitan la depuración de los programas. En la Figura 23 se observa la venta de panel de control y de diagrama de bloques.

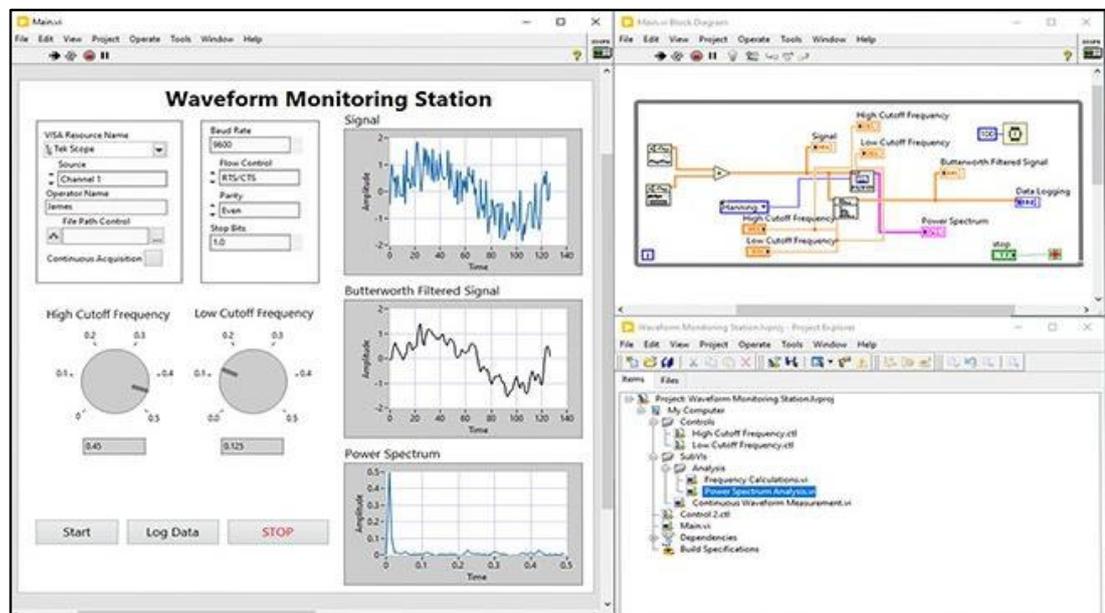


Figura 23. **Interfaz LabVIEW**

Fuente. Elaboración propia

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

La metodología de investigación utilizado es de tipo cuantitativa, exploratoria, descriptiva, experimental y correlacional, investiga la captación de datos numéricos de parámetros climático y ambientales desde los nodos sensores inalámbricos, de escasa aplicación en la región Junín, para evaluar y controlar el proceso de cultivo de maíz, se analiza las variables y se describe las características del módulo sensor y actuador inalámbrico de la investigación experimental que manipula variables, en condiciones controladas para establecer relaciones de causa y efecto, estudios correlacionales para evaluar la relación de las variables independientes y dependientes de los parámetros de medición obtenidos.

### **3.1 Hipótesis General**

El diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores para evaluar y controlar el proceso de cultivo de maíz, mejora su productividad.

### **3.2 Hipótesis Específicas**

#### **3.2.1 *Hipótesis Específico 1***

La identificación de los parámetros y dispositivos de evaluación y control en el proceso de cultivo de maíz, es útil para diseñar la red inalámbrica de sensores y actuadores.

### **3.2.2 Hipótesis Específico 2**

El diseño del prototipo de red inalámbrica que utiliza tecnología XBee, para medir parámetros ambientales y de suelo de cultivo de maíz, es útil para dimensionar el equipamiento de hardware y software.

### **3.2.3 Hipótesis Específico 3**

El prototipo diseñado es implementado para evaluar y controlar las señales captadas por los sensores y actuadores que permiten obtener la información de las condiciones favorables ó adversas en el proceso de cultivo de maíz.

## **3.3 Identificación de variables**

Las variables se identifican por variables independientes y dependientes.

### **3.3.1 Variable Independiente**

Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores, que es la variable CAUSA y varía de forma independiente.

### **3.3.2 Variable Dependiente**

Evaluación y Control del cultivo de maíz en Huayucachi, es la variable EFECTO, que depende de la variable CAUSA.

### 3.4 Operacionalización de variables

La operacionalización de variables de la tesis cuyo título es:

“Evaluación y control del cultivo de maíz, mediante el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores, en el distrito de Huayucachi”.

Para elaborar la matriz de operacionalización de variables es necesario identificar variable independiente (I) y variable dependiente (II) como se observa cuadro 3.

**Cuadro 3. Operacionalización de variables**

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE I  Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores.	Características del terreno de cultivo	-Conductividad, humedad y temperatura del suelo. -Temperatura, humedad relativa y radiación ultravioleta del ambiente.
	Diseño del Prototipo WSAN.	-Características técnicas de los dispositivos XBee: -Potencia de transmisión 10dBm en promedio -Sensibilidad de recepción entre – 30 dBm y -101 dBm
	Implementación del Prototipo WSAN	.Test de cobertura -Prueba de campo
VARIABLE II  Evaluación y Control del cultivo de maíz para mejorar su productividad en Huayucachi	Evaluar las condiciones del suelo y ambiente del cultivo de maíz	Mediciones de parámetros en cada proceso del cultivo de maíz.
	Controlar el riego por goteo.	Activación y desactivación de actuadores y señales de alarma en riego por goteo

*Fuente. Elaboración propia*

El problema general, objetivo general, hipótesis general, se obtiene de estas variables, los aspectos específicos del problema, objetivo e hipótesis, se obtiene de las subvariables que son las dimensiones e indicadores del cuadro de operacionalización de variables.

### **3.5 Tipo y Diseño de Investigación**

En la investigación de la tesis, se planifica de manera cuidadosa y compendiada para obtener resultados óptimos y favorables, de las mediciones de temperatura, humedad y radiación UV que se obtiene de los puntos o nodos sensores distribuidos en la red inalámbrica WSN, en el terreno de cultivo de maíz denominado "Pucucho pampa".

#### **3.5.1 Tipos de investigación.**

En la investigación científica, existen una gama de enfoques y paradigmas, por tanto, para tratar la investigación con objetividad, se considera tres tipos o paradigmas de la investigación: Paradigma cuantitativo, cualitativo y mixto, de los cuales el más usado es el cuantitativo, por la información abundante.

El desarrollo de esta tesis, es de investigación aplicada, de acuerdo al enfoque cuantitativo, esquema mostrado en la Figura 20, porque se trata sobre el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores, para evaluar y controlar el cultivo de maíz, respecto de sus parámetros cuantificables de temperatura, humedad, radiaciones UV y otros de forma escalable. En lo específico la investigación está relacionado con los tipos de investigación: Descriptiva, de documentos diversos de los antecedentes de la redes inalámbricos de sensores y actuadores, tipo experimental por la naturaleza de la tesis, tipo comparativo por la necesidad de realizar comparaciones con valores referenciales en el proceso de ajuste

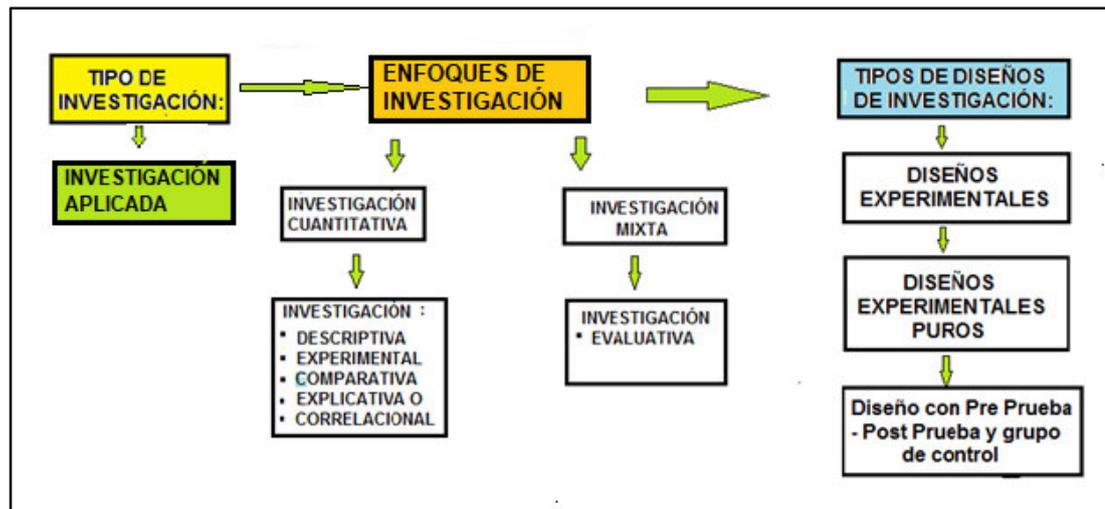
de las mediciones en la configuración del Arduino y el diseño del software aplicativo, el tipo explicativa o causal para sustentar las características de los resultados experimentales, el tipo correlacional para comprobar la relación y coherencia con las variables del experimento, finalmente la investigación es de tipo mixta en lo que concierne con el tipo evaluativa, para validar cada etapa del diseño e implementación de la WSAN.

### **3.5.2 Tipos de Diseño de Investigación.**

Según Hernández (1999), menciona que el diseño de investigación, señala al investigador lo que debe hacer para alcanzar sus objetivos de estudio, contestar las preguntas planteadas y analiza la certeza de la hipótesis formulada. Verifica las hipótesis en relación con el problema y el objetivo de la investigación de tesis, denominado “Evaluación y control del cultivo de maíz, mediante el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores, en el distrito de Huayucachi”.

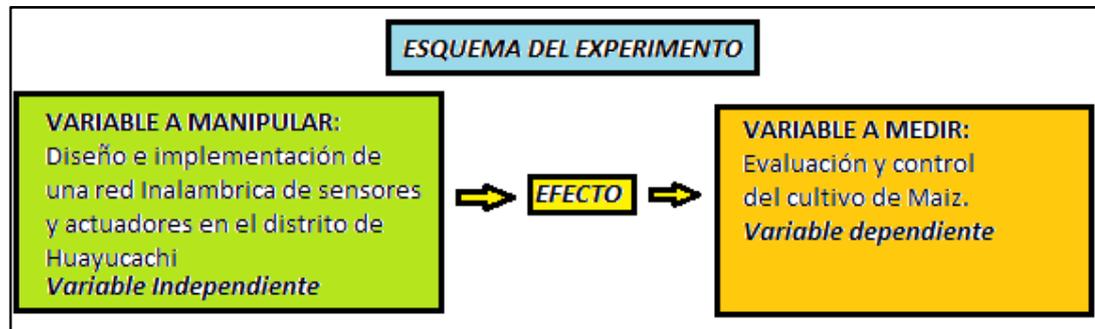
### **3.5.3 Diseños Experimentales**

De la Figura 24 tiene relación con el diseño de investigación tipo Experimental, la subdivisión de experimental pura, que tiene como características la manipulación intencional de variables independientes, medición de variables dependientes, control y validez, dos o más grupos de comparación, parámetros de temperatura, humedad, radiación UV y otras variables posibles de implementación, se presentan de forma aleatoria para su medición. Respecto al diseño con Pre prueba - Post Prueba y grupo de control, es imprescindible realizar durante el diseño e implementación del prototipo de la tesis.



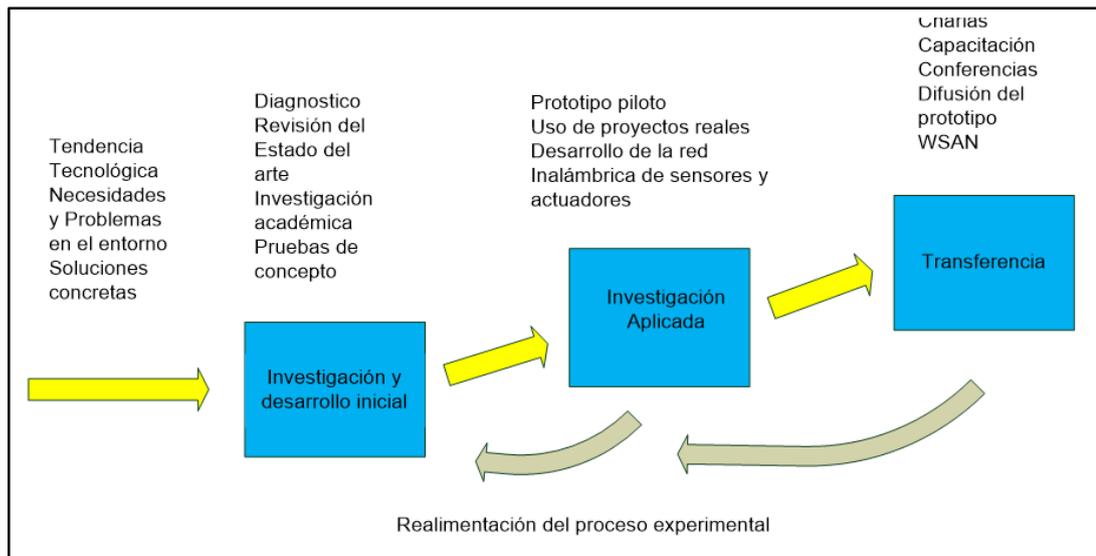
**Figura 24. Tipos de Investigación y de diseño de investigación.**  
 Fuente. Elaboración propia

A partir del esquema del experimento mostrado en la figura 25 se eligen las variables a manipular y a medir nos conlleva al diseño del software de monitoreo.



**Figura 25. Esquema del experimento**  
 Fuente. Elaboración propia

El desarrollo del software de monitoreo, se diseña de acuerdo al esquema de la figura 26. Por la naturaleza del tema de la tesis su modelo de investigación es aplicada, de innovación tecnológica del campo de las telecomunicaciones, orientado a dar soluciones en el campo de la agricultura, luego la masificación a través de su difusión mediante convenios con la municipalidad de Huayucachi y el ministerio de agricultura y riego (MINAGRI).



**Figura 26. Esquema de la secuencia del diseño de software aplicativo.**  
*Fuente. Elaboración propia*

### 3.6 Unidad de análisis

Los sujetos u objetos de estudio de esta investigación están constituidos por la evaluación y control del proceso de cultivo de maíz, ubicado en el distrito de Huayucachi, donde se han seleccionado los parámetros más significativos, como la medición de forma remota o inalámbrica de temperatura y humedad en el terreno, temperatura ambiental, humedad relativa y radiación UV, en cada etapa del proceso, considerando la preparación del terreno, la siembra, el crecimiento y cosecha, acondicionando el control de riego para el instante oportuno, utilizando el diseño e implementación del prototipo WSAN. El propósito de esta investigación, es mejorar la productividad y calidad de maíz que se produce en el terreno experimental denominado “Pucucho Pampa”.

Durante el diseño e implementación del prototipo se realizan pruebas repetitivas de corrección de errores, fallas y ajustes en el experimento de la funcionalidad de cada unidad del prototipo WSAN a nivel de hardware y software, que es lo medular de la investigación.

### **3.7 Población de estudio**

La población o universo se refiere al conjunto mediciones de los parámetros: Radiación UV, humedad del ambiente, temperatura de ambiente, humedad del suelo y temperatura del suelo, a través de sensores en cuatro puntos de sensado ubicados convenientemente en el terreno. Las mediciones se han realizado, cada día, durante las 24 horas del día, con intervalos de 15 días, en el periodo del mes de setiembre del 2019 al mes de mayo de 2020.

Este aporte de innovación tecnológica, debe beneficiar a los productores agrarios, trabajadores agrícolas y la población en general en el distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo, en la medida que se masifique su aplicación, a nivel de regional y nacional, aprovechando sus beneficios del prototipo WSAN.

### **3.8 Tamaño de muestra**

El tamaño de muestra coincide con la totalidad de la población o universo considerado en el presente estudio. Para lo cual se ha tenido las consideraciones siguientes:

Los nodos sensores de temperatura y humedad, entre tres y cinco unidades, los cuales fueron acondicionados, instalados en forma aleatoria, calibrados, configurados y medidos respecto a la exactitud, sensibilidad, ancho de banda, potencia de emisión de señal de radiofrecuencia, distancia de propagación, cuyas variables son evaluadas estadísticamente para optimizar los resultados de la medición y su coherencia en la presentación en el equipo de monitoreo de la estación base. El área de cultivo en evaluación es de 3477.03m<sup>2</sup>.

### **3.9 Selección de muestra**

Las muestras de medición de temperatura y humedad del terreno, temperatura ambiental, humedad relativa y radiación UV se registran en el proceso de preparación del terreno, siembra, crecimiento y cosecha a través del prototipo WSAN.

### **3.10 Técnicas de Recolección de Datos**

Se explica el procedimiento, lugar y condiciones de recolección de datos. Se considera lo siguiente:

- a. Recopilar, revisar, analizar, comparar y selección de tesis, documentos, revistas, manuales de sensores, actuadores, redes inalámbricas.
- b. Selección de equipos, accesorios fuentes de energía, celdas solares y dispositivos de WSAN. De acuerdo a funcionalidad y costos. Medición en terreno experimental de humedad y radiación solar con los Motes
- c. Instalar en el terreno de cultivo el prototipo WSAN, los nodos sensores, y el centro de monitoreo y control, prueba de funcionamiento y validación final. Medir temperatura, humedad y radiación UV del terreno usando el prototipo WSAN en campo.
- d. Acondicionar y almacenar la base de datos, por periodos del proceso de cultivo de maíz por año. Medir los parámetros establecidos en el módulo y realizar muestra estadística.

### **3.11 Análisis e Interpretación de la información**

Esta operación describe: a) El proceso de clasificación, registro y codificación de datos; b) Las técnicas analíticas (lógica o estadística) que se utiliza para comprobar la hipótesis y obtener las conclusiones.

Estos procedimientos permiten comprobar las hipótesis generales y específicas, para lograr los resultados esperados, mediante una evaluación estadística de las mediciones que se desarrollan en el terreno experimental en un plazo entre seis a doce meses y verificar la productividad y calidad del maíz cosechado y corregir las fallas si lo hubiera para optimizar el resultado de la evaluación y control del cultivo de maíz.

En conclusión, los procedimientos en el diseño e implementación de prototipo WSAN, debe garantizar la optimización del proceso de cada etapa del cultivo de maíz, verificando y corrigiendo las herramientas de software desplegado, cada componente y unidad del prototipo WSAN, hasta finalmente evaluar los resultados finales que se obtiene en la tesis, planteando las propuestas de mejora del proyecto.

## **CAPITULO 4: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES Y ACTUADORES PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO DEL CULTIVO DE MAÍZ**

En el presente capítulo se expone a detalle el análisis, diseño, implementación, evaluación y pruebas del sistema del prototipo de una red inalámbrica de sensores y actuadores utilizado para la evaluación y control del proceso del cultivo de maíz en el distrito de Huayucachi.

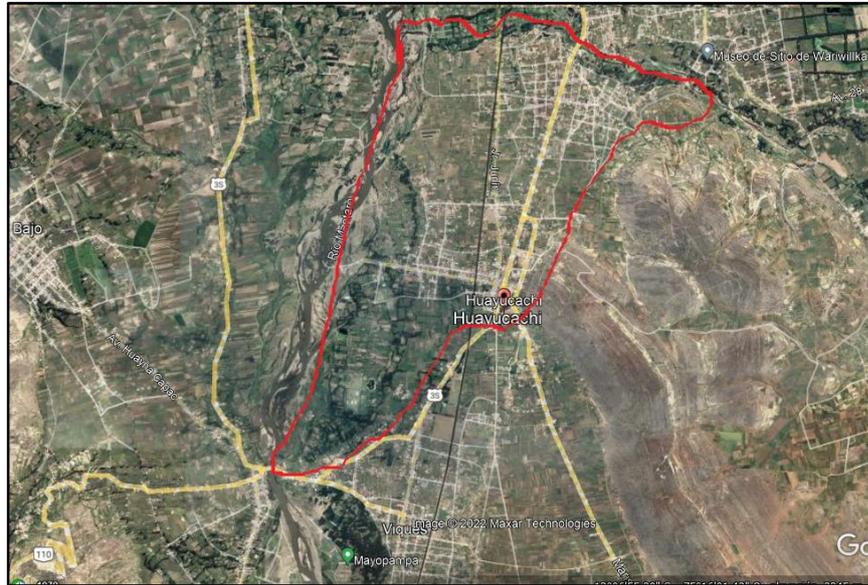
### **4.1 Análisis del Sistema**

#### ***4.1.1 Análisis del Lugar de Estudio***

Para el análisis de nuestro lugar de estudio se ha considerado el Distrito de Huayucachi, el cual se encuentra ubicado en la provincia de Huancayo, departamento de Junín. Este distrito limita por el norte con el Distrito de Huancán; por el sur con el Distrito de Viques; por el este con el Distrito de Sapallanga; y, por el oeste con el río Mantaro y la Provincia de Chupaca.

El distrito de Huayucachi abarca una superficie total de 13,3 km<sup>2</sup>, con una altura de 3201 m.s.n.m. y una población de 8558 habitantes de acuerdo con el último Censo registrado en el año 2007. Por la Ubicación geográfica de Huayucachi cuenta con un clima de tundra, con temperatura media anual de 23°C y precipitaciones media anual de 16mm.

En la Figura 27, se observa el mapa geográfico del distrito de Huayucachi, sombreado de color rojo los límites fronterizos con el resto de distritos.



**Figura 27. Mapa Geográfico del distrito de Huayucachi.**  
*Fuente. Obtenido de Google Earth (2021)*

Para propósitos de implementación del prototipo de una red inalámbrica se elige el lugar a estudio con las siguientes coordenadas geográficas en grados decimales  $-12.126512, -75.225464$ . (Ver Figura 28)



**Figura 28. Mapa satelital del lugar de estudio.**  
*Fuente. Obtenido de Google Earth Pro (2021)*

En la Figura 29, se muestra los límites en color rojo del área total de estudio en el cual se va a realizar la evaluación y control del cultivo de maíz.



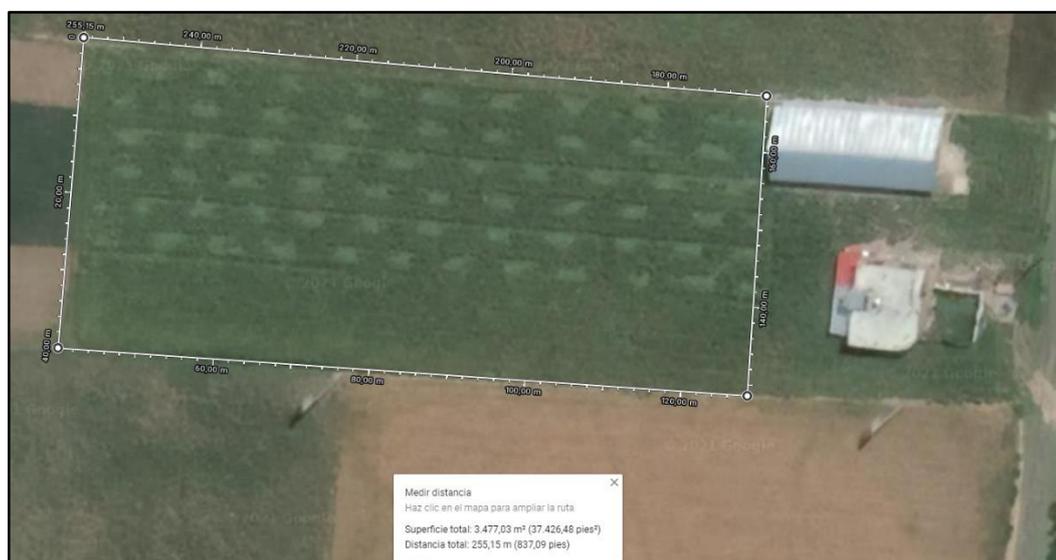
**Figura 29. Área total de estudio.**  
Fuente. Obtenido de Google Earth Pro (2021)

El área total de estudio cuenta con una superficie de  $4776.46\text{m}^2$  y un perímetro equivalente a  $322,90\text{m}$  aproximadamente. El terreno a estudiar cuenta con una zona construida en la cual se utiliza como área de monitoreo y control del cultivo de maíz. (Ver Figura 30)



**Figura 30. Superficie y perímetro del área de estudio.**  
Fuente. Obtenido de Google Earth Pro (2021)

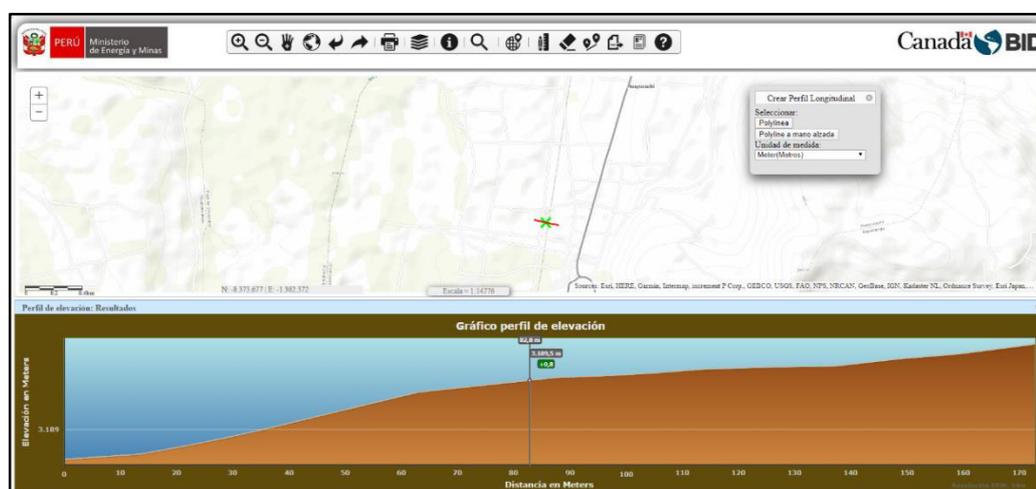
El área efectiva de estudio, como se muestra en la Figura 31, cuenta con una superficie de  $3477.03\text{m}^2$  y un perímetro equivalente a  $255.15\text{m}$  en dónde se realiza la evaluación y control del cultivo de maíz.



**Figura 31. Área efectiva de Estudio.**

Fuente. Obtenido de Google Earth Pro (2021)

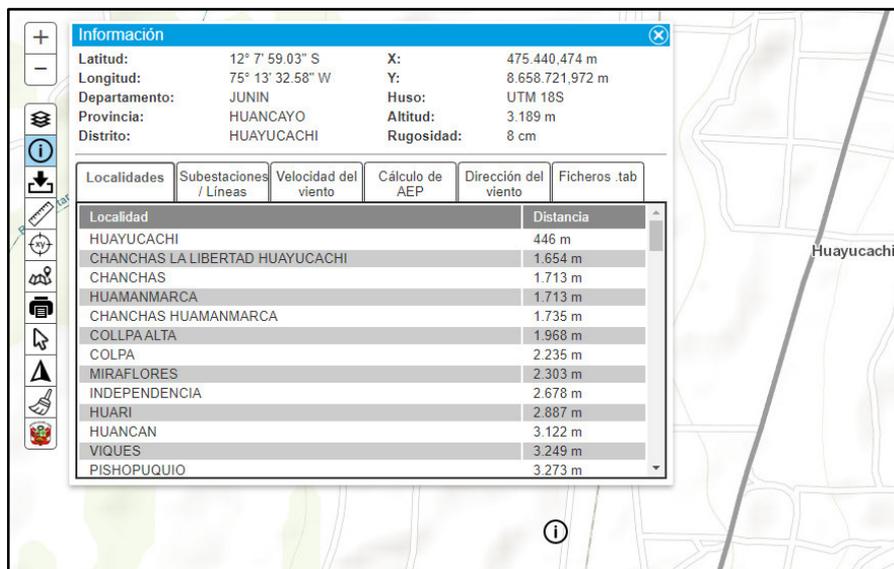
De acuerdo a la ubicación geográfica del lugar de estudio, marcado de color verde, como se muestra en la Figura 32, se obtiene la vista de perfil longitudinal donde se observa que la superficie del terreno es aproximadamente plana, presentando pocas diferencias de elevaciones.



**Figura 32. Vista de perfil longitudinal del lugar de estudio.**

Fuente. Obtenido de Mapas NREL (2021)

En la Figura 33, se muestra los parámetros del lugar de estudio en donde el valor de rugosidad es de 8cm el cual corresponde a un terreno con características muy pedregosa.



**Figura 33. Parámetros del lugar de estudio.**  
Fuente. Obtenido de Mapas NREL (2021)

#### 4.1.2 Parámetros de evaluación y control

Los parámetros de evaluación y control del cultivo de Maíz Amiláceo se seleccionan de acuerdo a los estudios desarrollados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMIHI. Se toman como parámetros de referencia la temperatura, la humedad relativa y precipitaciones de lluvia. El principal parámetro de control que se considera en el diseño es la humedad, medida por la conductividad del suelo, que va a permitir controlar los rangos de humedad permisibles del suelo y controlar su temperatura, que nos permita garantizar una producción de calidad.

En el cuadro 4 se detalla los parámetros meteorológicos requeridos para la evaluación del cultivo de maíz Amiláceo, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura promedio, precipitación promedio y Humedad Relativa. Adicionalmente el maíz Amiláceo requiere abundante

radiación solar durante el ciclo de cultivo siguiendo las recomendaciones de SENAMHI (2017).

**Cuadro 4. Parámetros de evaluación del cultivo de maíz Amiláceo.**

<b>VARIABLES METEOROLÓGICAS</b>	<b>PROMEDIO</b>
Temperatura máxima (°C)	18°C – 21°C
Temperatura mínima (°C)	3°C
Temperatura promedio (°C)	12°C
Precipitación promedio (mm)	650 mm (650 litros de agua por m <sup>2</sup> )
Humedad Relativa (% HR)	60% HR – 95% HR

*Fuente. SENAMHI (2017)*

#### **4.1.3 Requerimientos de dispositivos del Diseño**

Para el diseño del prototipo de una red inalámbrica de sensores y actuadores para la evaluación y control del cultivo de maíz debemos tener las siguientes consideraciones:

- El sistema debe poseer sensores de temperatura y humedad que permitan la obtener datos del terreno a evaluar.
- Debe poseer sensores que permitan adquirir datos ambientales del lugar de estudio como: temperatura ambiental, humedad relativa y radiación UV.
- Debe contar con una red inalámbrica que permita la adquisición de datos de forma segura y eficiente.
- Poseer un controlador diseñado a medida, para el sistema, con la capacidad de enviar y recibir la información de forma inalámbrica, permitiendo un control y monitoreo mediante una interfaz gráfica.
- Poseer un sistema fotovoltaico para alimentar el área de control y monitoreo del cultivo de maíz.
- El sistema debe ser capaz de controlar actuadores las cuales activarán un sistema de riego por goteo que regulará la humedad del terreno a estudiar.

- La evaluación y control del cultivo de maíz se debe realizar adicionalmente de manera remota, accediendo desde cualquier parte del Perú y del mundo donde se cuente con conexión a internet.

#### **4.1.4 Planteamiento de la Solución**

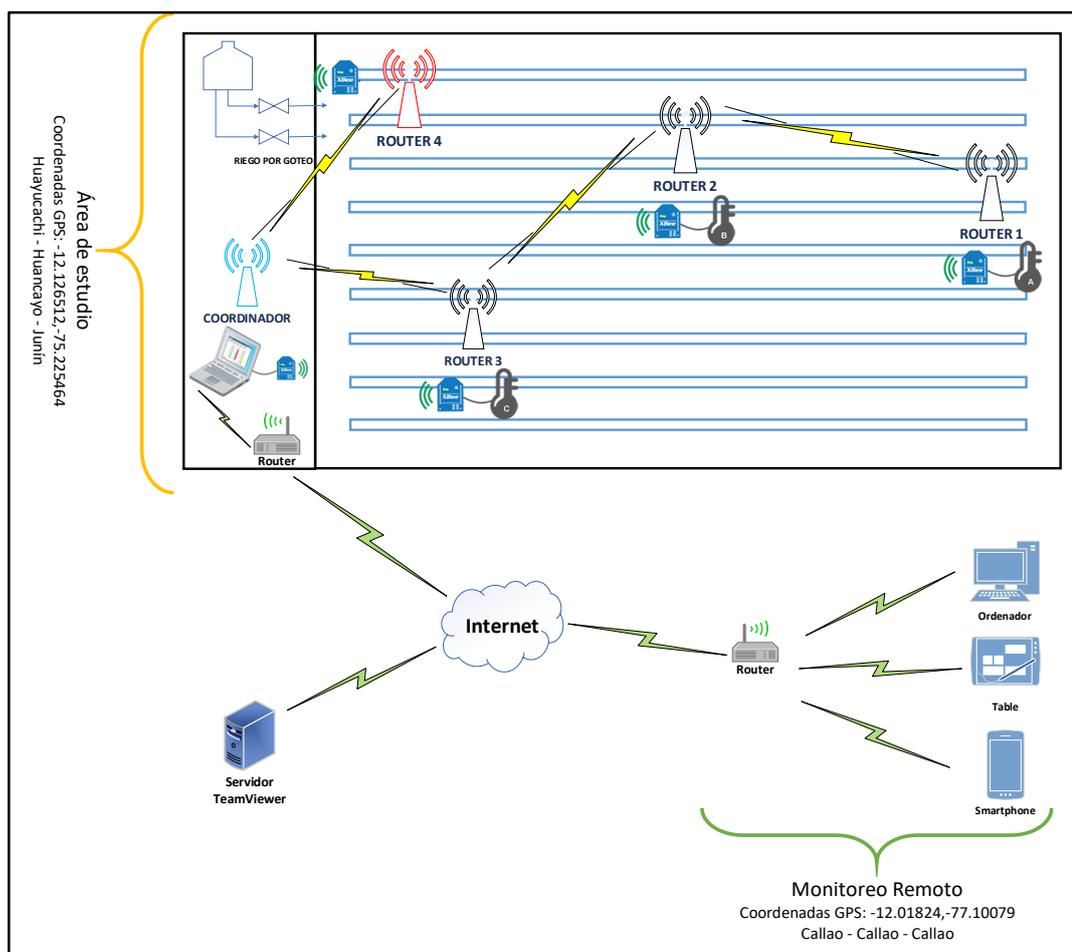
Considerando una superficie de 3307.58m<sup>2</sup> del terreno a evaluar y controlar el cultivo de maíz, se diseña un prototipo basado en una red XBee compuesto por 5 sistemas modulares de comunicaciones: Los tres primeros sistemas modulares XBee funcionan como ruteadores (Router 1, 2 y 3), los cuales recolectan datos de los sensores proveniente del terreno evaluado y enviarla al coordinador; y el cuarto sistema modular XBee opera como Router 4 que registra los datos ambientales y controla los actuadores encargados de la regulación de la humedad del terreno evaluado. El quinto sistema modular XBee corresponde a las funciones de coordinador, el cual es el encargado de la recepción de los datos de los sensores, y enviarlas a la interfaz de control y monitoreo del ordenador.

Se dimensiona sistemas fotovoltaicos, considerando el índice de radiación solar del área de estudio, que alimentan a cada uno de los módulos de comunicaciones durante todo su funcionamiento.

La interfaz de control y monitoreo se diseña en el software LabVIEW el cual permite de manera segura y eficiente el procesamiento de los datos evaluados del terreno. La evaluación y control del cultivo de maíz se realiza de forma local, utilizando la interfaz del ordenador y remota mediante la aplicación TeamViewer.

#### 4.1.5 Diagrama General del Sistema

Nuestro diseño del prototipo, red inalámbrica de sensores y actuadores, para la evaluación y control del cultivo de maíz, se encuentra representado en el diagrama de la Figura 34, que especifica las características del sistema general.



**Figura 34. Diagrama general del sistema.**

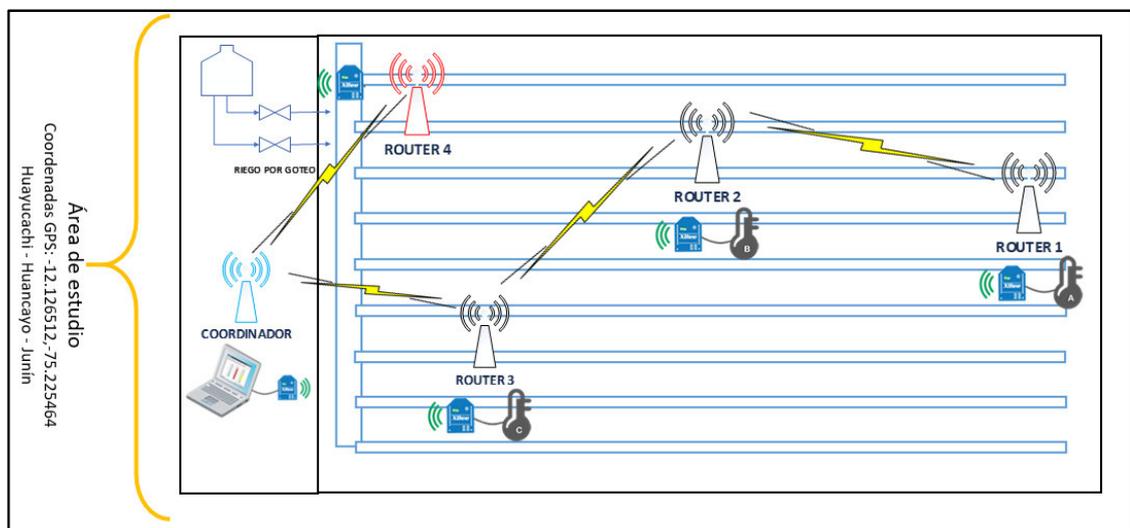
*Fuente. Elaboración propia*

El monitoreo remoto se realiza desde la oficina ubicada en el centro comercial “Santa Rosa”, distrito del Callao, provincia constitucional del Callao, utilizando internet y los servidores de TeamViewer, que permite tener conectividad con el centro de control local del área de estudio, ubicado en el distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo del departamento de Junín.

## 4.2 Diseño del Sistema

### 4.2.1 Diseño del Prototipo WSAW

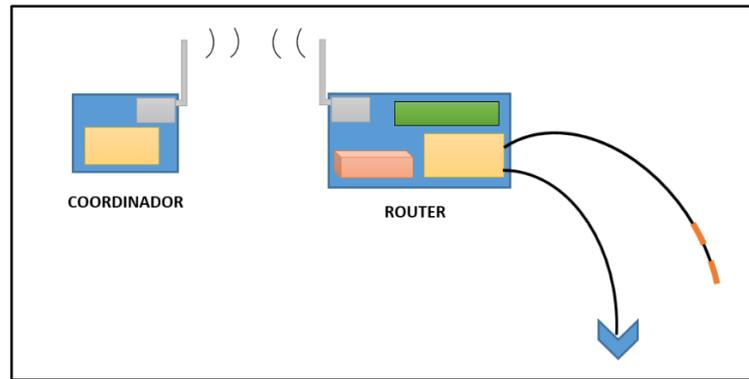
El diseño de la red inalámbrica de sensores y actuadores (WSAN, del inglés *wireless sensor and actuator network*) cuenta con 5 sistemas modulares de comunicaciones; un sistema modular coordinador y cuatro sistemas modulares ruteadores. (Ver Figura 35)



**Figura 35. Prototipo WSAW.**  
Fuente. Elaboración propia

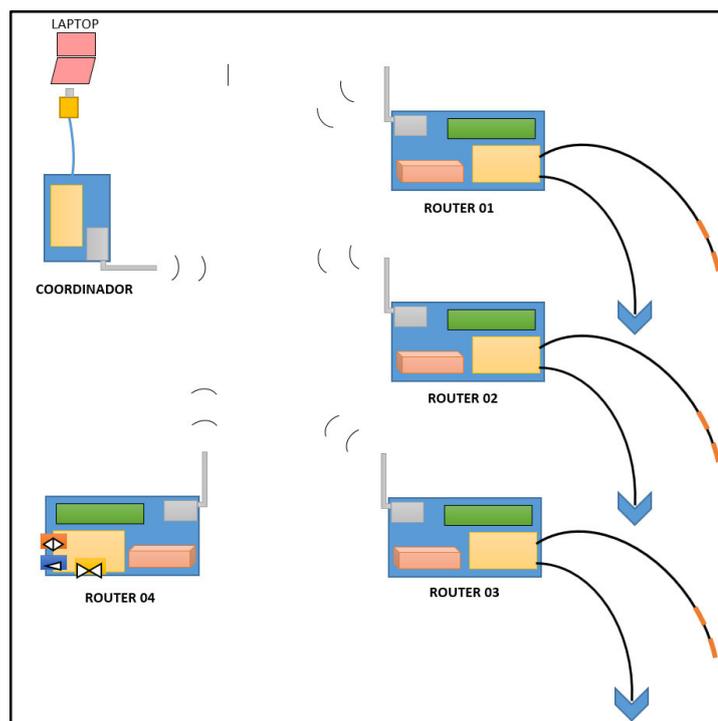
El sistema modular coordinador se encuentra instalado en la parte central inicial del área de estudio y los sistemas modulares ruteadores distribuidos en el terreno, recolectan información que se utiliza para realizar la evaluación y control del cultivo de maíz.

El módulo coordinador establece comunicación con cada Router, con sus respectivos sensores instalados, donde se intercambia información de forma inalámbrica entre ambos módulos como se muestra en la Figura 36.



**Figura 36. Esquema WSAN Coordinador y Router.**  
 Fuente. Elaboración propia

El coordinador establece comunicación alámbrica con una Laptop, utilizando interfaz USB 2.0, donde se registra y se muestra la información recibida por los ruteadores a través de una interfaz gráfica. (Ver Figura 37)

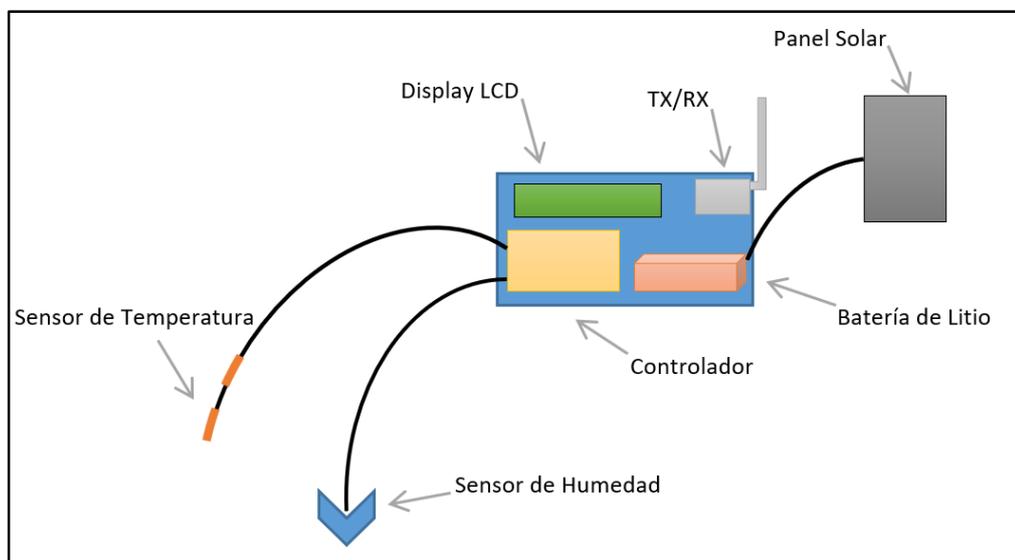


**Figura 37. Esquema WSAN Coordinador con Router 1-2-3-4.**  
 Fuente. Elaboración propia

El Router 4, con sus sensores, es el único módulo que posee la función de controlar los actuadores necesarios para realizar el riego por goteo.

#### 4.2.2 Diseño Sistema Modular Router 1-2-3

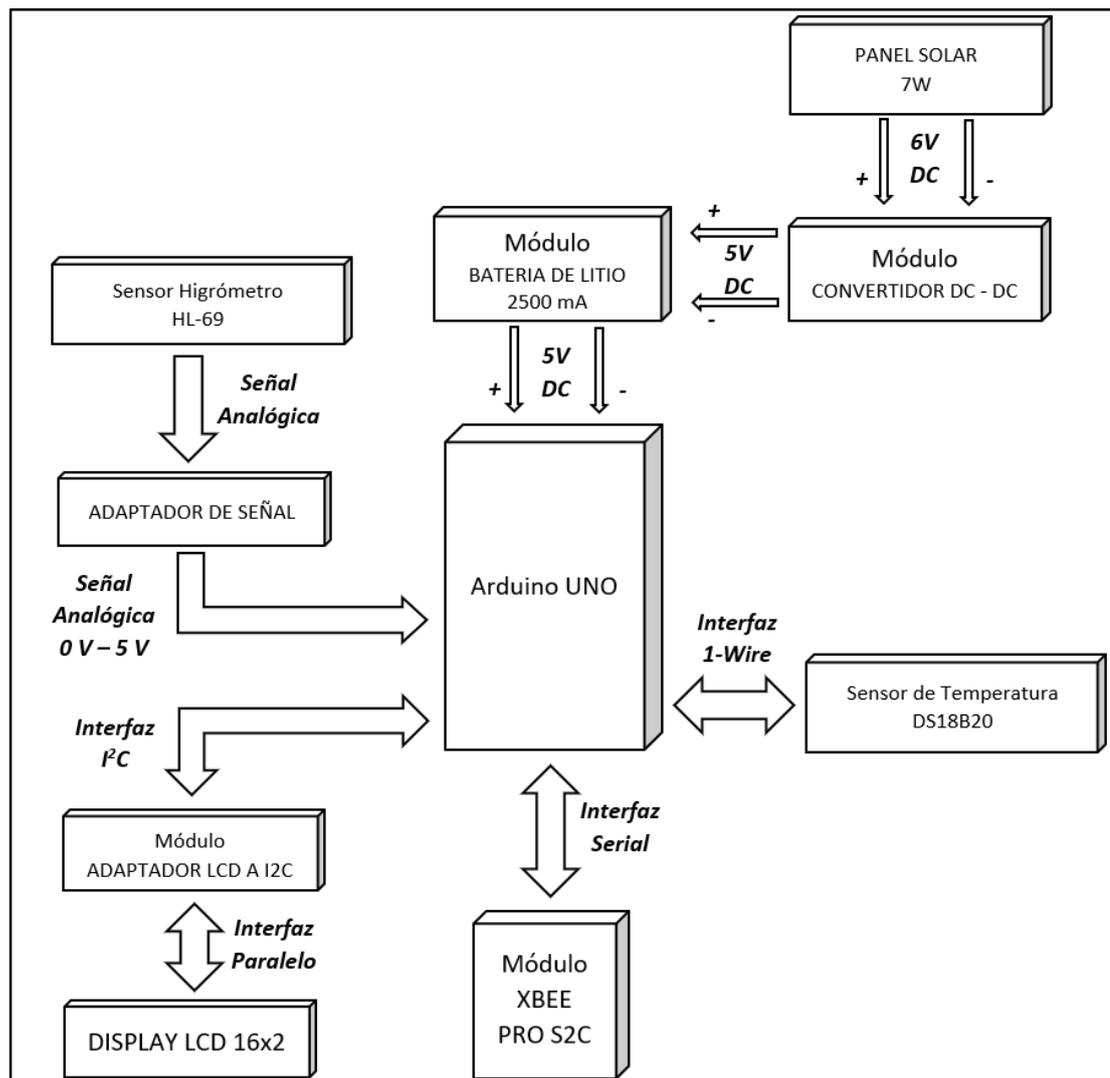
El diseño del sistema modular Router 1-2-3 posee sensores que permite obtener lecturas de temperatura y humedad del suelo, cuenta con un LCD que visualiza información de forma local, un controlador utilizado para procesar las señales de los sensores, un transmisor de señal que permite la transferencia de datos de forma remota y una batería con un panel solar que proporciona la energía necesaria para alimentar todos los dispositivos del módulo. (Ver Figura 38)



**Figura 38. Esquema de distribución del Sistema Modular Router 1-2-3.**  
Fuente. Elaboración propia.

El dispositivo utilizado para realizar la lectura de temperatura del suelo es el sensor digital DS18D20 que utiliza el protocolo 1-Wire para establecer comunicación, podemos registrar temperaturas desde los  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta los  $125^{\circ}\text{C}$ . Para registro de humedad de suelo se utiliza el sensor de conductividad HL-69, que, por medio de 2 electrodos resistivos insertados dentro del suelo a evaluar, donde la resistencia entre los electrodos varía de acuerdo a la humedad del suelo, por lo que para un suelo muy húmedo se tiene una resistencia baja y para un suelo muy seco obtenemos una resistencia alta.

En la Figura 39 observamos el diagrama de bloques de los sistemas de comunicaciones modulares Router 1-2-3, el controlador principal del sistema, determinado por el Arduino UNO, el cual permite administrar múltiples interfaces y protocolos (I<sup>2</sup>C, 1-Wire, Serial y ADC) necesarios para establecer comunicación con el sensor de temperatura y humedad, transmisor XBee PRO S2C y LCD.



**Figura 39. Diagrama de bloques del sistema modular Router 1-2-3.**  
Fuente. Elaboración propia

Cada Router cuentan con un sistema fotovoltaico independiente, que permite cargar la batería que alimenta a todos los dispositivos conectados.

Los componentes utilizados en los Router 1-2-3 son de tipo modular, los cuales interactúan como se observa en la Figura 40. El Shield XBee se utiliza como placa de adaptación entre el Arduino UNO y el módulo XBee.

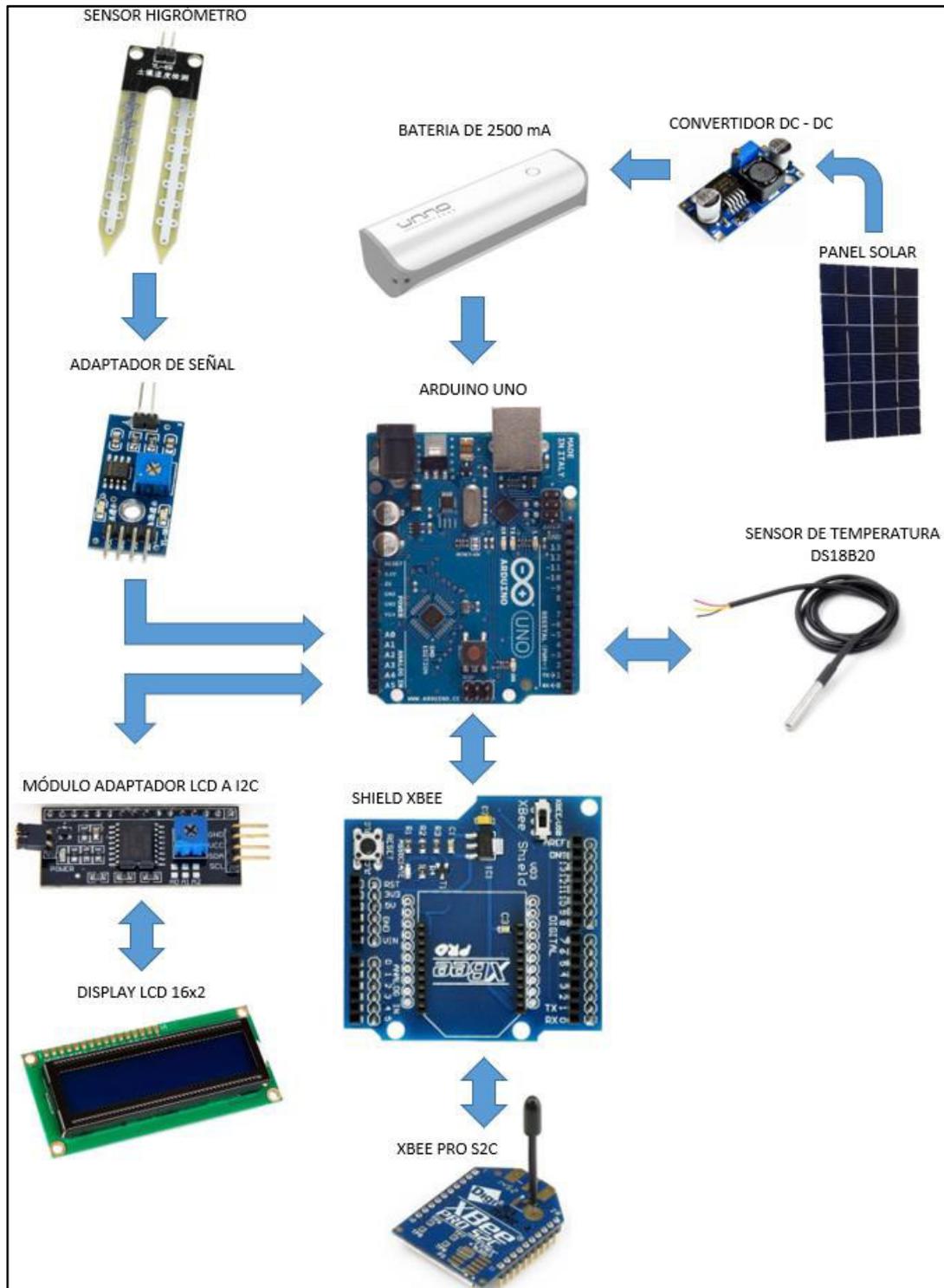
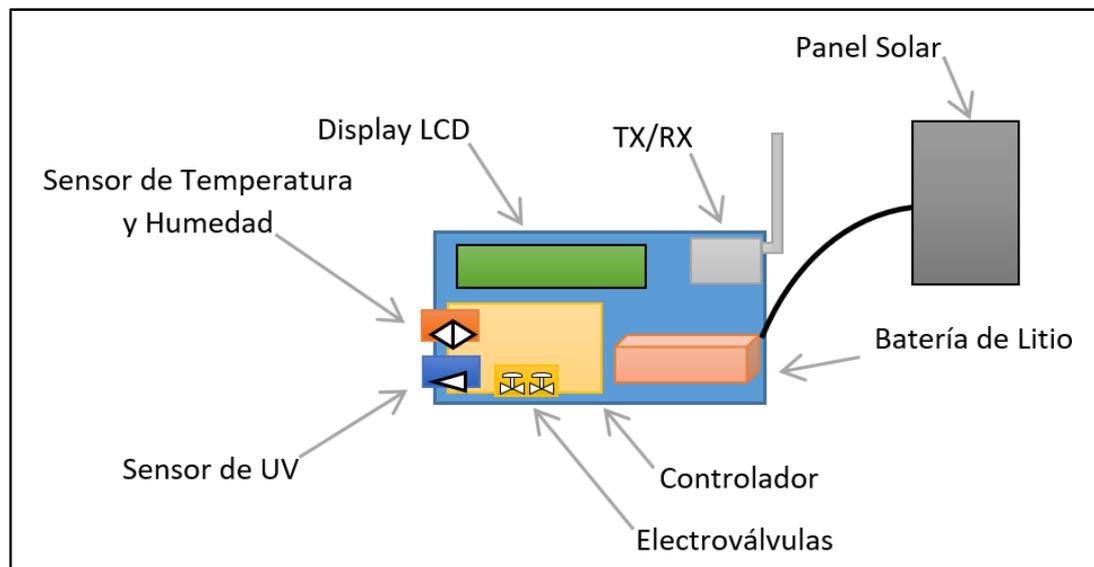


Figura 40. Diagrama de componentes del Sistema Modular Router 1-2-3. Fuente. Elaboración propia

#### 4.2.3 Diseño Sistema Modular Router 4

El diseño del sistema modular Router 4 posee sensores que permite obtener lecturas de temperatura y humedad ambientales, cuenta con una LCD que visualiza información de forma local, un controlador utilizado para procesar las señales de los sensores y actuadores, un transmisor de señal que permite la transferencia de datos de forma remota y una batería con un panel solar que proporciona la energía necesaria para alimentar todos los dispositivos del módulo. (Ver Figura 41).

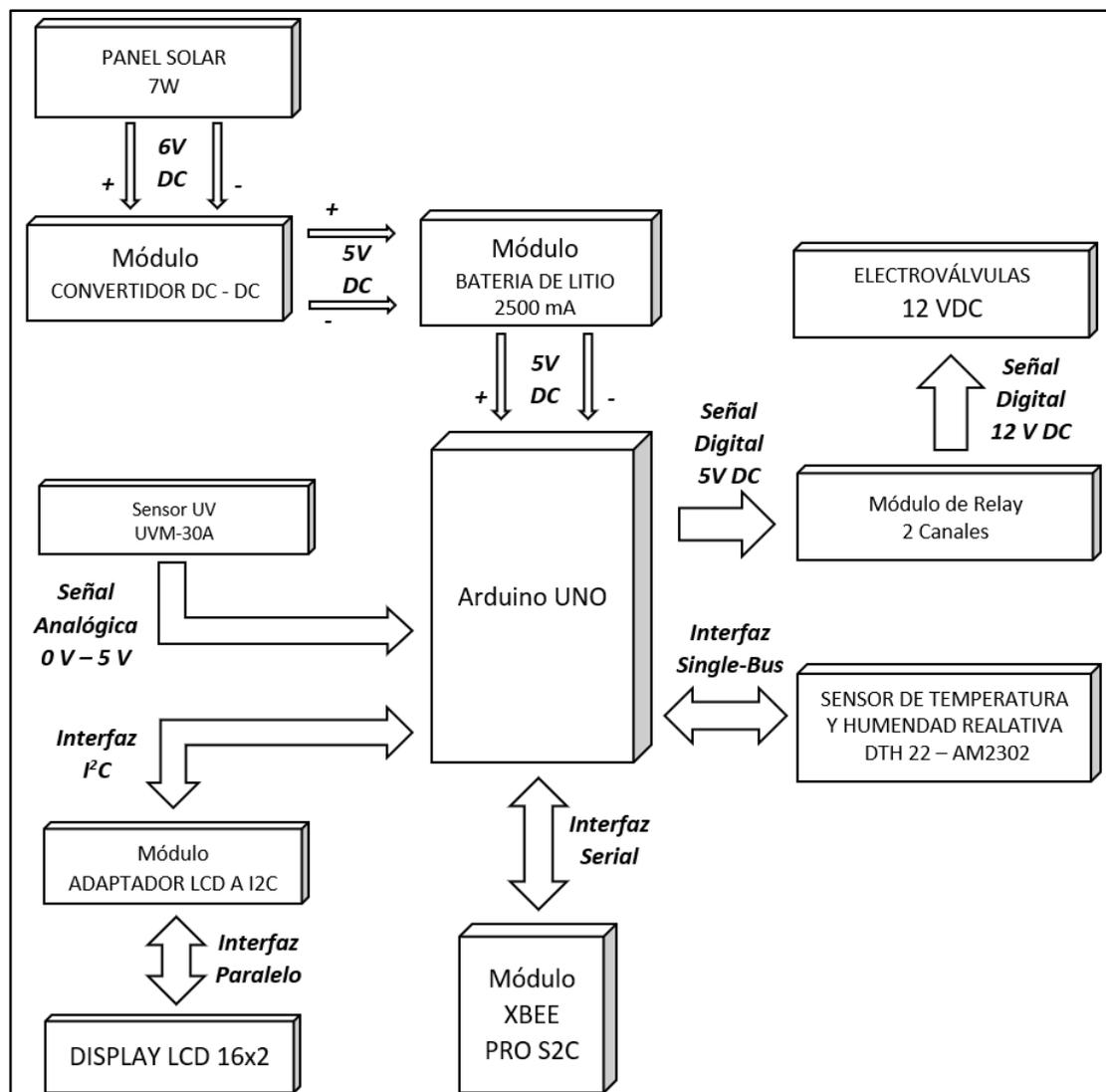


**Figura 41. Esquema de distribución del Sistema Modular Router 4.**  
Fuente. Elaboración propia

El sensor digital STH31 se utiliza para obtener la temperatura ambiental y humedad relativa del lugar de estudio, integra un termistor que registra mediciones desde los  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ , con una resolución de temperatura de  $0.015^{\circ}\text{C}$ , para las lecturas de la humedad relativa se cuenta con un sensor capacitivo integrado que permite un rango de mediciones de 0 a 100% HR, con una resolución de humedad de 0.01% HR. El sensor STH31 utiliza la interfaz I<sup>2</sup>C que permite establecer comunicación bidireccional, con tiempos de muestreos rápidos.

El sensor GYML8511, es utilizado para detectar el índice de intensidad ultravioleta (UV), se selecciona un voltaje de operación de 0 a 3.3 VDC y provee una señal eléctrica de salida analógica, el cual permite medir longitudes de onda de 280 a 390 nm.

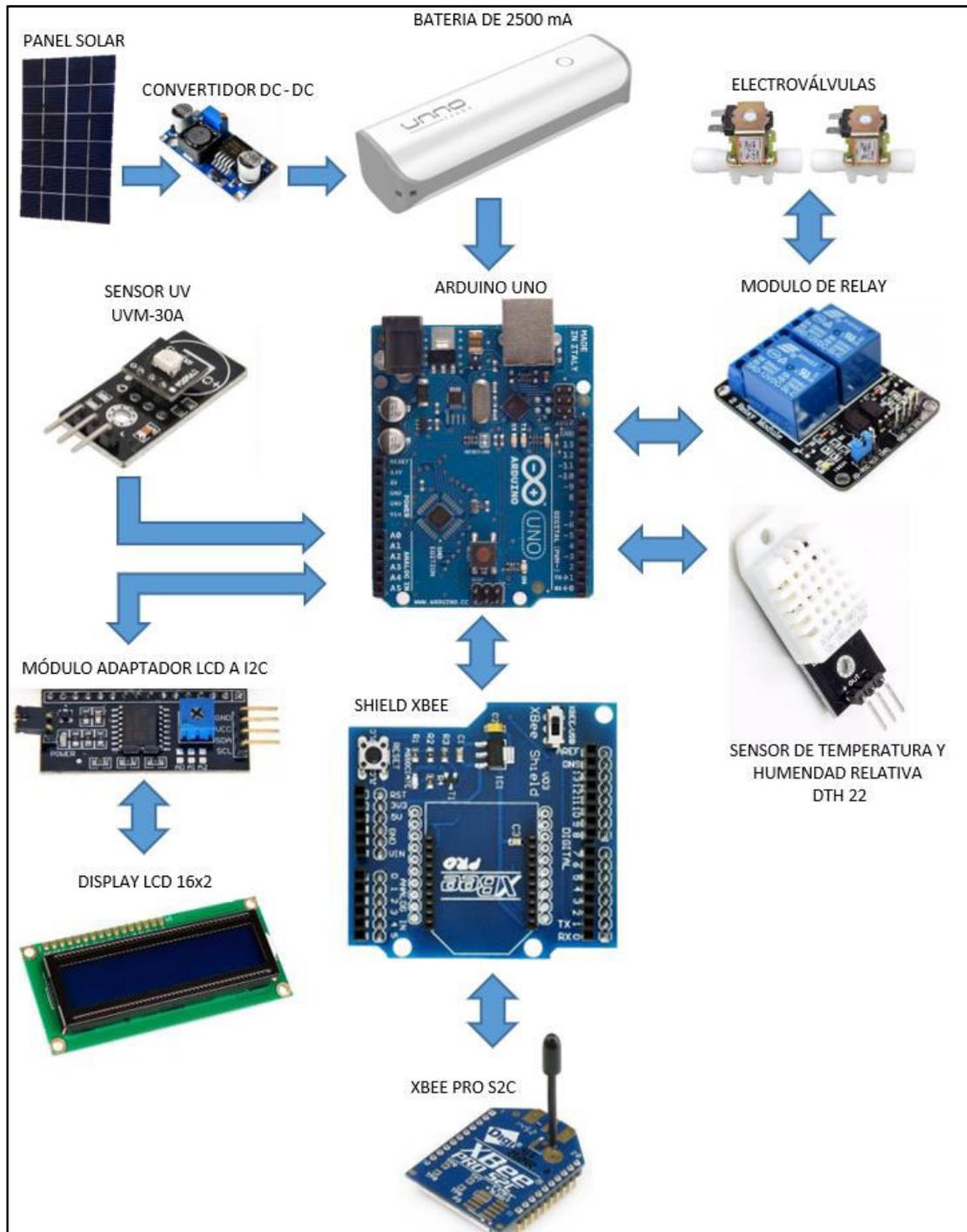
El módulo Router 4 utiliza el Arduino UNO como controlador central, el cual permite administrar múltiples interfaces de comunicaciones (I<sub>2</sub>C, Serial, ADC y digitales) necesarios para establecer comunicación con los sensores, el transmisor XBee, el LCD y actuadores como se muestra en la Figura 42.



**Figura 42. Diagrama de bloques del sistema modular Router 4.**

*Fuente. Elaboración propia*

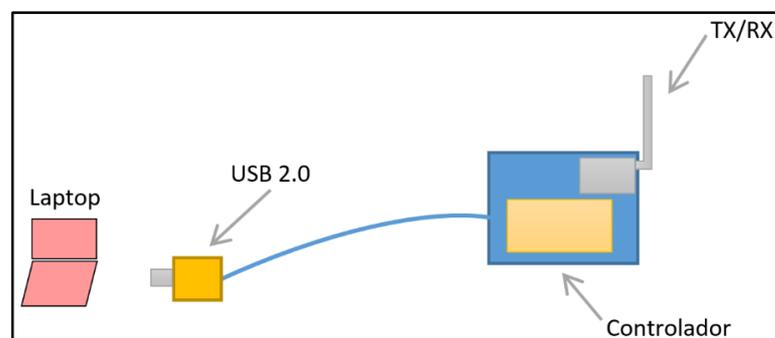
En la Figura 43 se observa los componentes utilizados en Router 4, que son de tipo modular. El módulo Relay utilizado para la activación de las electroválvulas del control de riego por goteo del terreno.



**Figura 43. Diagrama de componentes del Sistema Modular Router 4.**  
Fuente. Elaboración propia

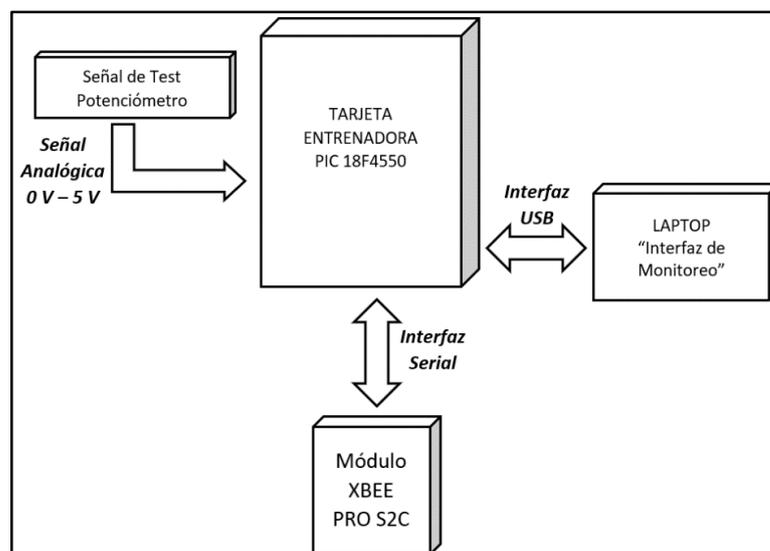
#### 4.2.4 Diseño Sistema Modular Coordinador

El diseño del sistema modular Coordinador cuenta con un transmisor/receptor de señal, que permite crear una red inalámbrica por radio frecuencia de forma segura y estable, un microcontrolador utilizado para procesar las señales recibidas de los ruteadores y un puerto USB, que establece conexión con una interfaz de monitoreo en una Laptop u ordenador. (Ver Figura 44).



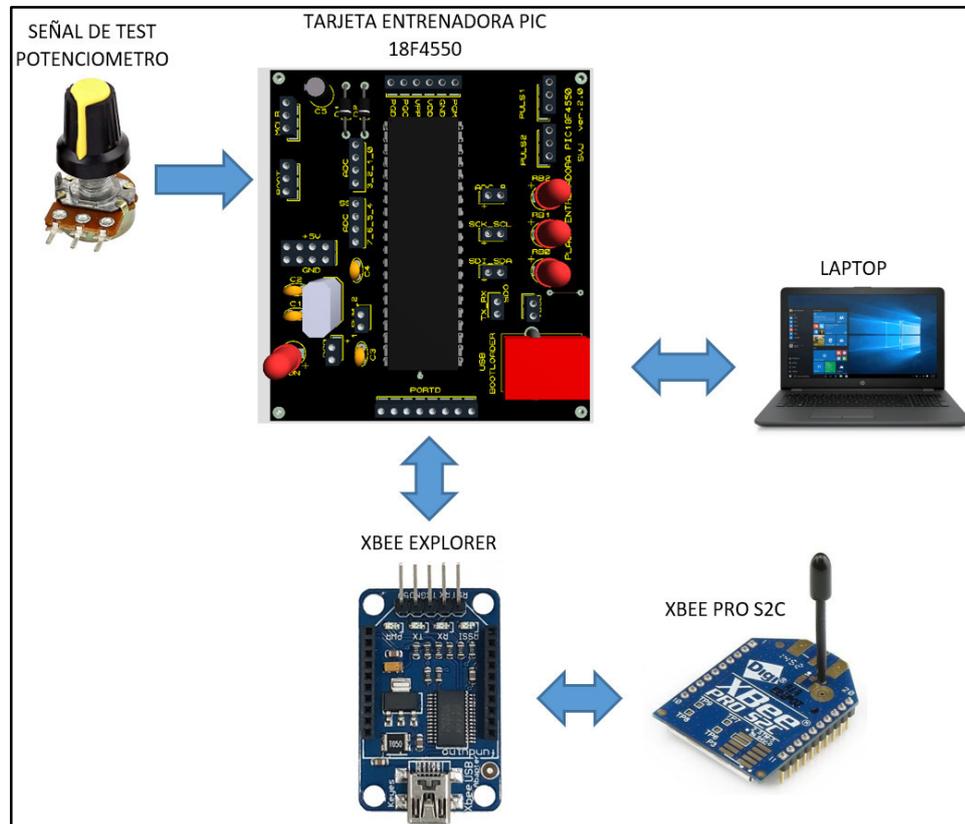
**Figura 44. Esquema de distribución del Sistema Modular Coordinador.**  
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 45 observamos las interfaces USB 2.0 y Serial (RS-232) del módulo Coordinador que conecta con el microcontrolador de PIC 18F4550.



**Figura 45. Diagrama de bloques del sistema modular Coordinador.**  
Fuente. Elaboración propia

El módulo Coordinador utiliza el XBee Explorer como tarjeta de adaptación para establecer comunicación entre el XBee PRO S2C y la tarjeta entrenadora PIC 18F4550, como se observa en la Figura 46.



**Figura 46. Diagrama de componentes del Sistema Modular Coordinador.**  
Fuente. Elaboración propia

El potenciómetro genera una señal test analógica que el microcontrolador procesa y envía utilizando el puerto USB 2.0 hacia la interfaz de monitoreo implementado en LabVIEW, que permite verificar el estado de conectividad del sistema en general que muestra gráficamente como una barra interactiva.

La tarjeta entrenadora PIC 18F4550 procesa, gestiona y almacena momentáneamente todos los datos recibidos de la red XBee mediante un algoritmo de control diseñado a medida para cumplir con la tarea principal del prototipo WSAN.

#### 4.2.5 Diseño del algoritmo de control de los Sistemas Modulares

El diagrama de flujo de la Figura 47, muestra la secuencia de procesos del módulo coordinador, se declara las variables iniciales, se configura las interrupciones y módulos utilizados. La interrupción RDA (RS-232) se produce cada vez que en el módulo USART hay datos disponibles proveniente del XBee Coordinador, la interrupción TIMER 2 realiza la consulta si los módulos XBee se encuentra conectados y la función USB lee y envía los paquetes de datos obtenidos de forma cíclica.

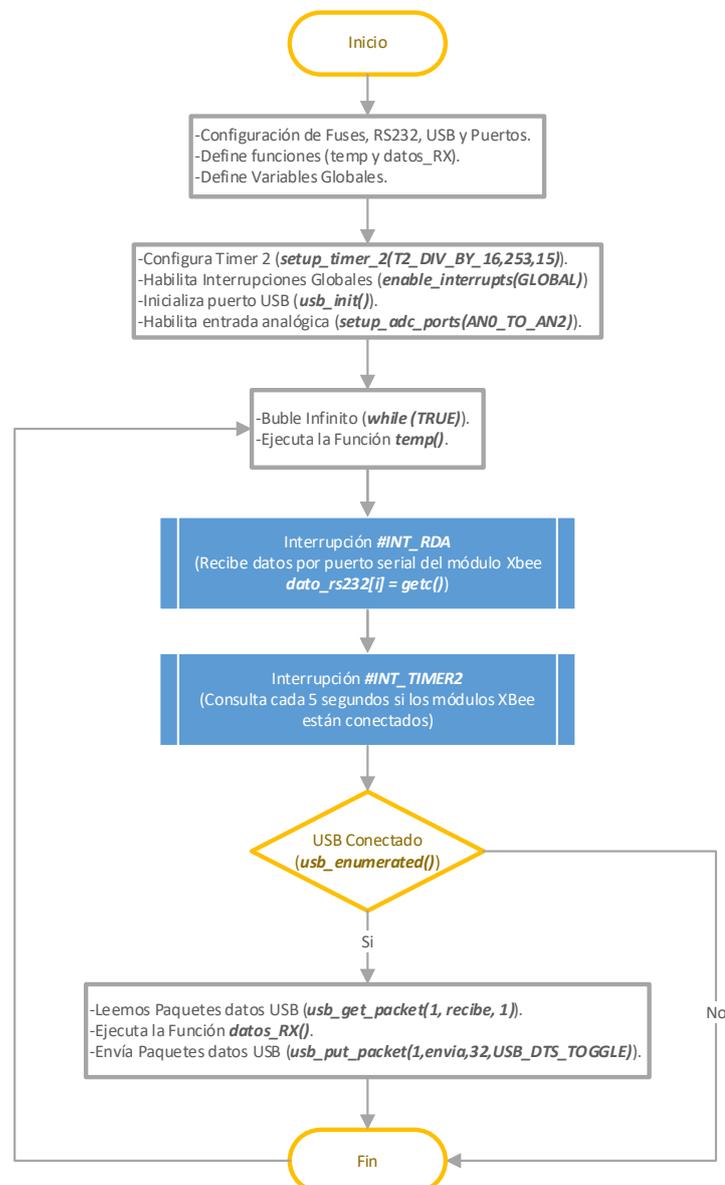
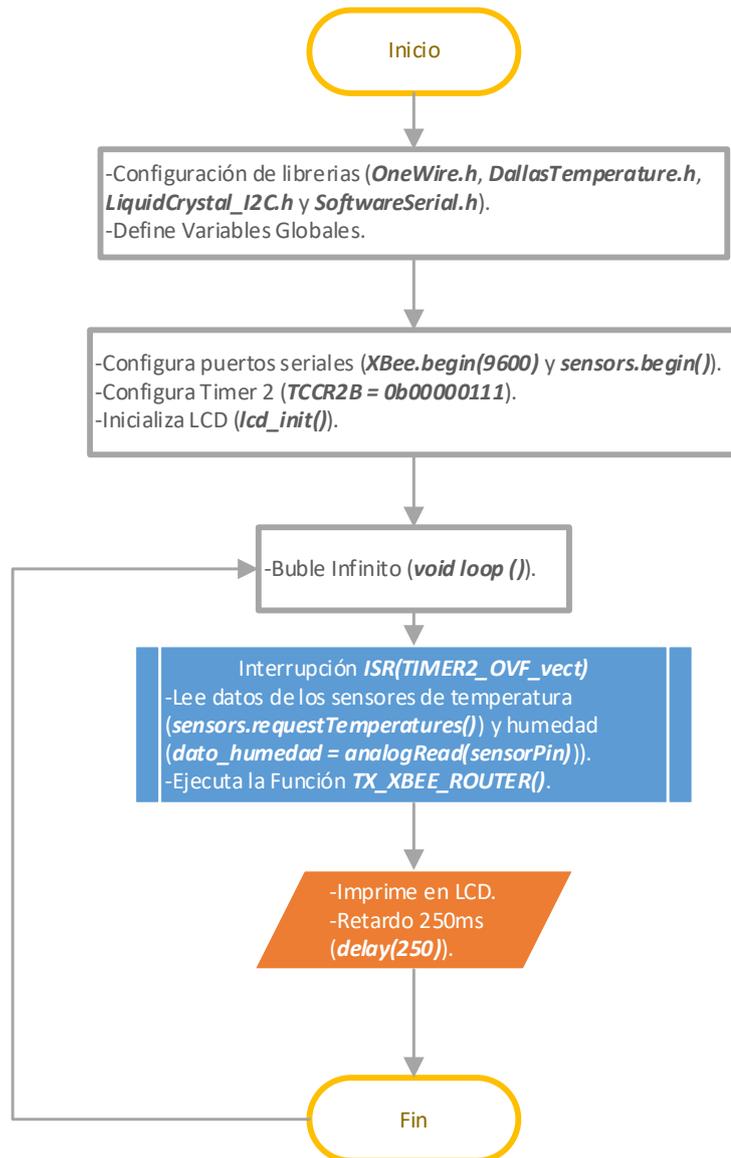


Figura 47. Diagrama de flujo del algoritmo de control Coordinador.  
Fuente. Elaboración propia

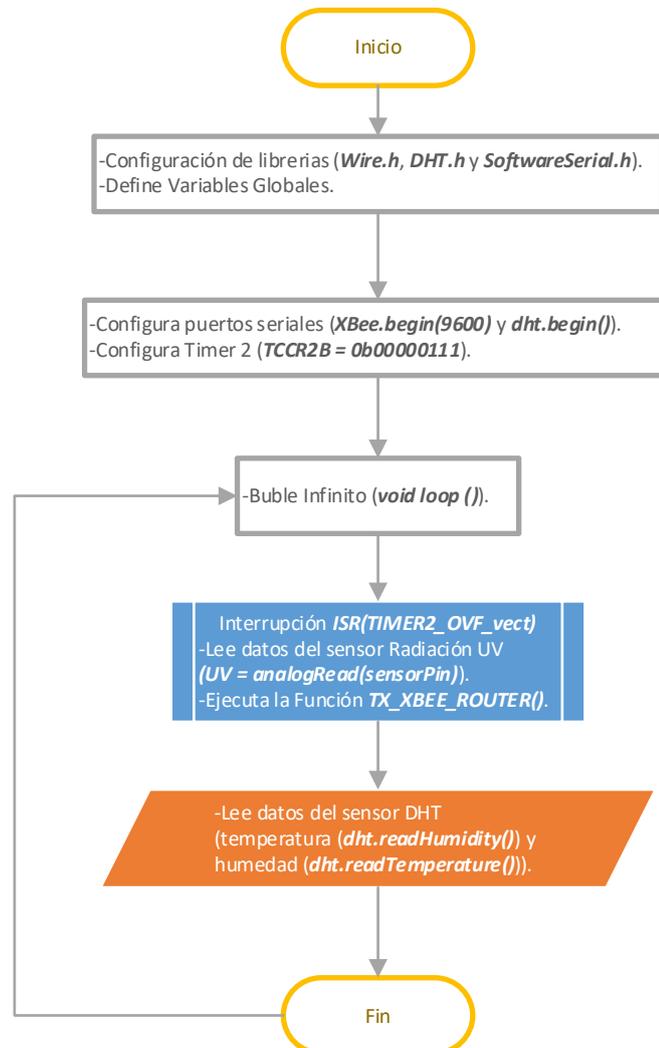
En los módulos Router 1-2-3 se selecciona las librerías (“OneWire.h” - Protocolo, “DallasTemperature.h” - Sensor DS18B20, “LiquidCrystal.h” - LCD y “SoftwareSerial.h” - Puerto Serial), se define las variables globales, se configura el puerto serial (RS-232) y la interrupción TIMER 2 y se inicializa el LCD mostrada en la Figura 48.



**Figura 48. Diagrama de flujo del algoritmo de control Router 1-2-3.**  
Fuente. Elaboración propia

En TIMER 2 se temporiza la adquisición de datos de los sensores de temperatura y humedad del módulo, para luego mostrarla en el LCD de forma interactiva y cíclica.

En el diagrama de flujo del Router 4 se selecciona las librerías (“Wire.h” - Protocolo, “STH31.h” - Sensor STH31 y “SoftwareSerial.h” - Puerto Serial), se define las variables globales, se configura el puerto serial (RS-232) y la interrupción TIMER 2. (Ver Figura 49)

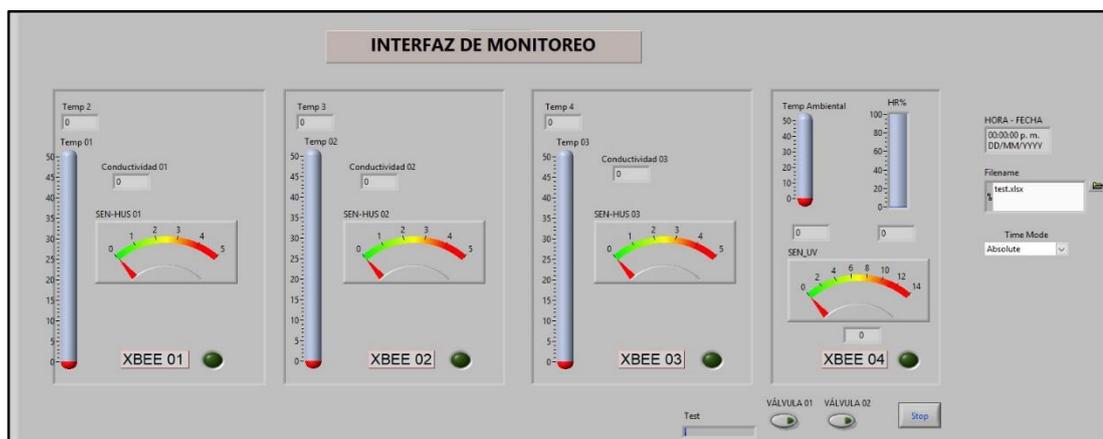


**Figura 49. Diagrama de flujo del algoritmo de control Router 4.**  
Fuente. Elaboración propia

Las funciones del sensor STH31 (“sht.getHumidity()” y “sht.getTemperature()”) se ejecuta de forma cíclica, la captura de datos del sensor de radiación UV se realiza a través del ADC y se temporizan con TIMER 2. Se ejecuta la función XBee el cual envía los datos de los sensores procesados por el módulo Router 4 hacia el módulo Coordinador.

#### 4.2.6 Diseño la Interfaz Gráfica

La gráfica mostrada en la Figura 50, representa la Interfaz de Monitoreo de temperatura y humedad del suelo de los módulos Router 1-2-3, así mismo la temperatura ambiental, humedad relativa y el índice de radiación UV del módulo Router 4. Se implementa 4 indicadores luminosos que representan el estado de conectividad de los ruteadores.



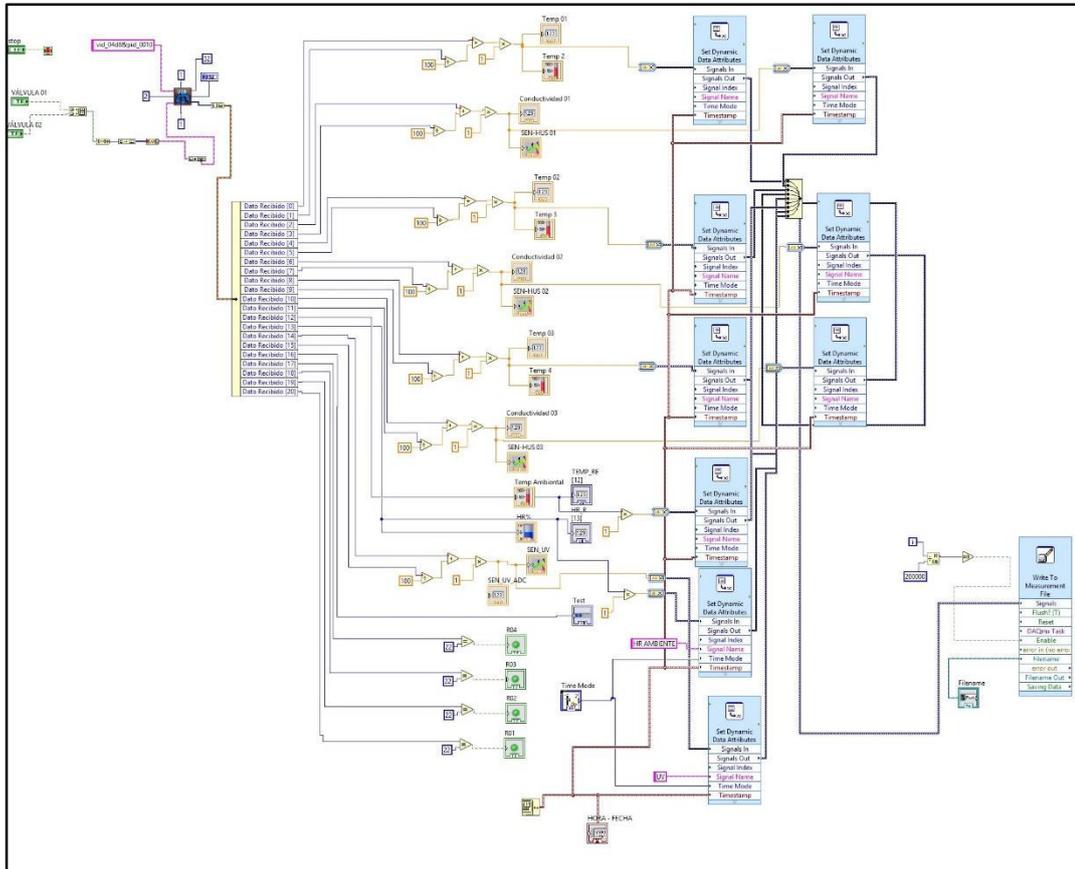
**Figura 50. Interfaz de Monitoreo.**

*Fuente. Elaboración propia*

Los datos se reciben por la Interfaz de monitoreo LabVIEW, se almacenan en una base de datos de Excel, tabulados en un intervalo de 24 muestras por día. La temperatura del suelo se registra en un rango seteado de 0 °C a 50°C, y la humedad del suelo en un rango de 0% (5VDC – Conductividad del suelo Baja) a 100% (0VDC – Conductividad del suelo Alta), la temperatura ambiental en un rango de 0°C a 50°C, la humedad relativa en un rango de 0% a 100% HR y índice de radiación de 0 a 11 UV.

Se dispone de una barra horizontal (Test) que permite verificar el estado de operatividad del módulo coordinador en tiempo real con la interfaz de monitoreo. Se acondiciona tres interruptores (Válvula 01, Válvula 02 y M/A) que permite la activación de las electroválvulas instaladas en el terreno evaluado de forma manual y automática (M/A) que opera de acuerdo a las condiciones establecidas en el algoritmo de control.

En la programación gráfica de LabVIEW se utiliza el subvi “picusb” que acondiciona las señales para enviar y recibir información desde el módulo coordinador con 32 bytes de transmisión y 2 bytes de recepción a la interfaz de monitoreo. (Ver Figura 51).



**Figura 51. Programación en lenguaje G de la Interfaz de Monitoreo.**  
Fuente. Elaboración propia

Las señales de entrada a la interfaz de monitoreo, desde el módulo coordinador, se constituye por 21 datos agrupados en 8 bits (1 byte), cada 2 bytes correlativos corresponden a la información de cada sensor siendo el primer byte el valor entero y el segundo byte el valor decimal. Los datos procesados en el LabVIEW pasan por el block “Set Dynamic Data Atributes”, el cual cumple la función de asignar a las señales atributos de información como nombre, hora, fecha y frecuencia de muestreo, para almacenarlo en la base de datos en una hoja de cálculo de Excel utilizando el block “Write To Measurement File”.

## 4.2.7 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.

### 4.2.7.1 Sistema Fotovoltaico de los módulos Ruteadores

La alimentación de los ruteadores está conformada por un sistema fotovoltaico como se muestra en la Figura 52, constituido por un panel solar de 7W de 6VDC, un regulador reductor DC-DC (Buck) y una batería recargable de litio de 2500mAh.

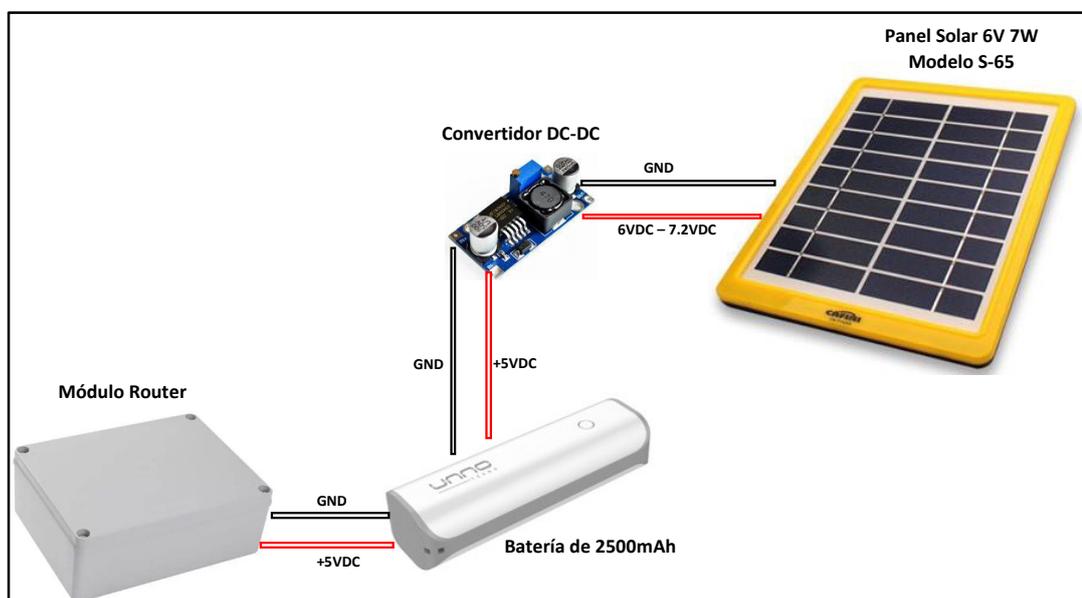


Figura 52. Gráfica de alimentación de los Ruteadores.

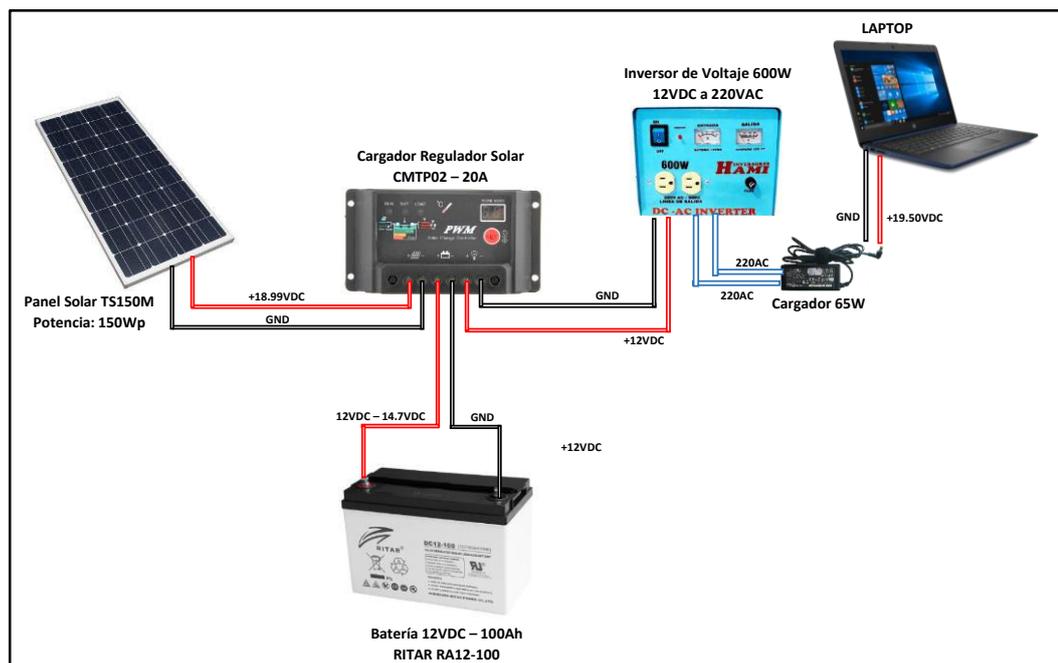
Fuente. Elaboración propia

El panel solar proporciona un voltaje en un rango de 6 a 7.2 VDC, siendo regulada por convertidor Buck a un voltaje estable de 5 VDC, que permite cargar la batería que alimenta al módulo ruteador las 24 horas.

Para el dimensionado del Sistema Fotovoltaico, se requiere una estimación del consumo de energía total de 11.59 Wh/Día, por cada ruteador implementado, donde se aplica un margen de seguridad de 20%, siendo un total real de 13.90 Wh/Día considerando las pérdidas por rendimiento de la batería. Para los cálculos del Sistema Fotovoltaico se considera un rendimiento de batería de 95% y de los conductores de 100% como se detalla ANEXO D.

#### 4.2.7.2 Sistema Fotovoltaico de la Estación de Monitoreo

La alimentación de la Estación de Monitoreo se encuentra determinada por un panel Solar monocristalino de 150W, un Cargador Regulador Solar de 12VDC - 20Ah, una batería seca de 12VDC – 100Ah, un Inversor de Voltaje Lineal de 12VDC a 220VAC de 600W y un cargador de 65W que suministra energía eléctrica a la Laptop como se aprecia en la Figura 53.



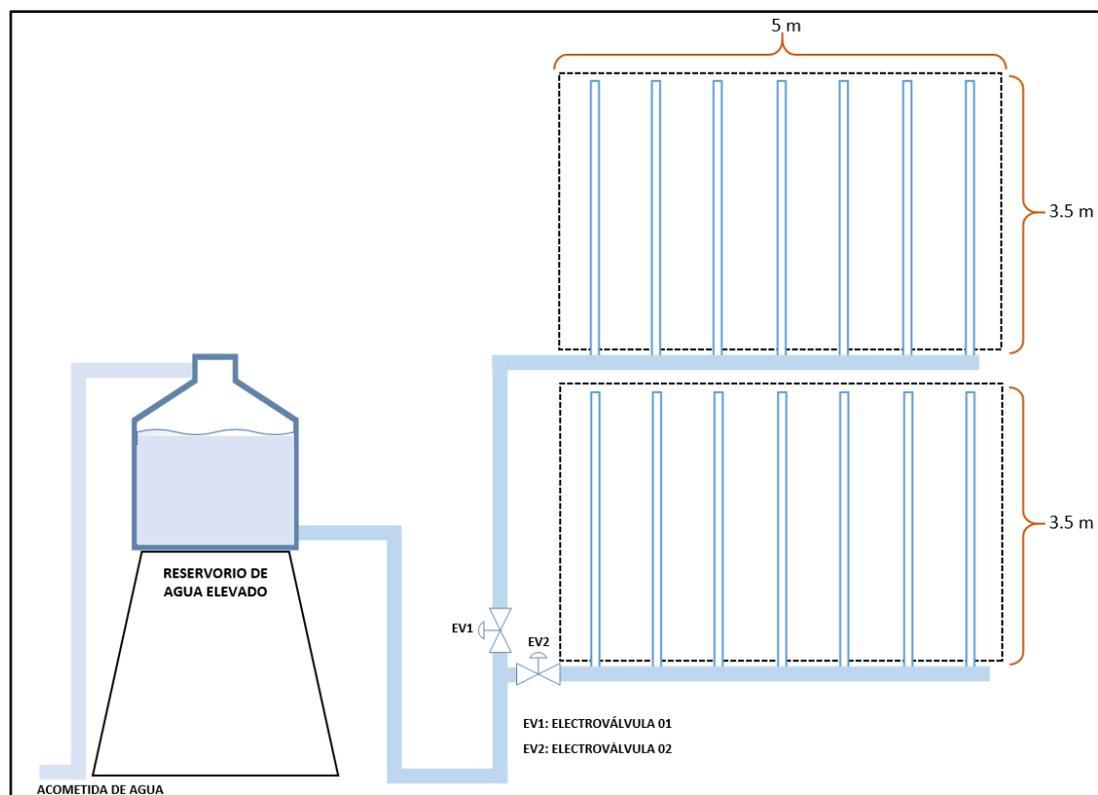
**Figura 53. Gráfica de alimentación de la Estación de Monitoreo.**

*Fuente. Elaboración propia*

El sistema fotovoltaico se ha diseñado de acuerdo al índice de radiación promedio de la ubicación del terreno evaluado, como se detalla en el ANEXO D. El panel solar suministra un voltaje aproximado 18.99VDC en pleno rendimiento al controlador solar y este regula el voltaje de carga en la batería entre 12VDC a 14.7VDC, que entrega a su vez un voltaje estabilizado de 12VDC al Inversor Lineal y a la iluminación LED de 12VDC de la estación de monitoreo.

#### 4.2.8 Dimensionamiento del riego por goteo

El control por riego por goteo se realiza mediante dos electroválvulas que se encuentran conectadas a mangueras primarias de una pulgada de diámetro, que distribuyen el caudal principal de agua. Estas mangueras primarias se conectan con mangueras secundarias de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro instaladas cada 70 cm, que se extiende a lo largo del surco del sembrío, donde se conectan con niples de goteo cada 15 cm que humedece cada planta de maíz. (Ver Figura 54)



**Figura 54. Diagrama general del riego por goteo.**  
Fuente. Elaboración propia

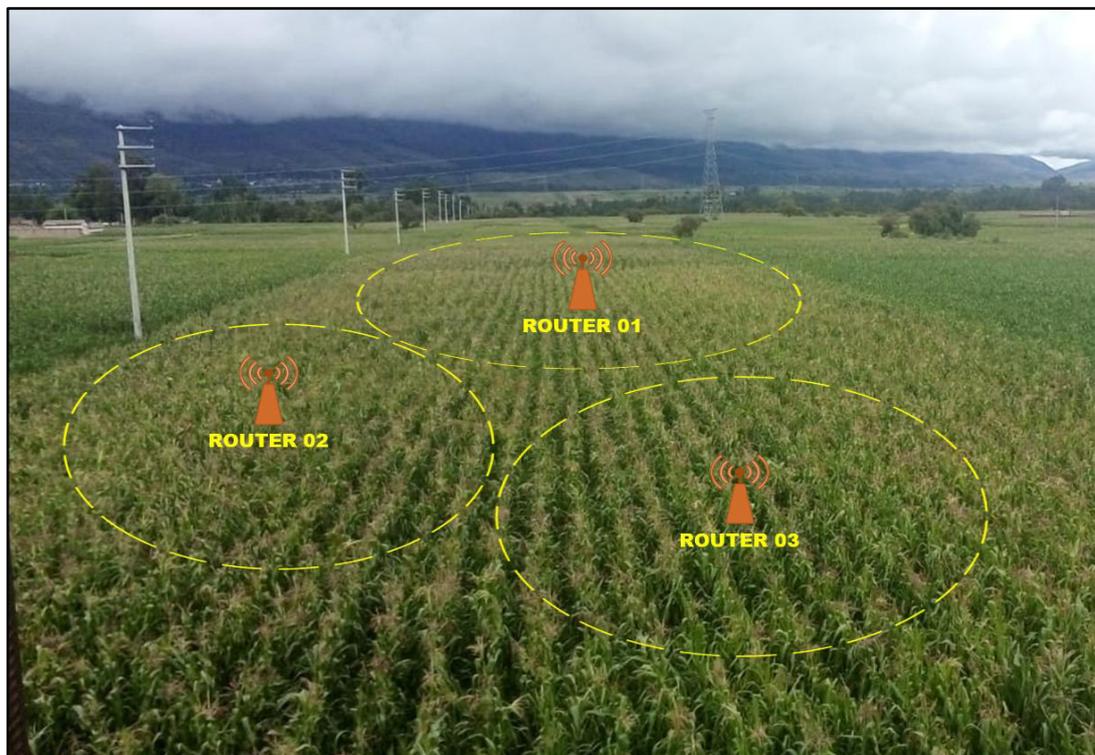
El área de prueba del riego por goteo esta representa por el 1% ( $35 \text{ m}^2$ ) del área total efectiva de estudio ( $3477.03 \text{ m}^2$ ).

Las electroválvulas se activan mediante los actuadores (Relés ON/OFF) que se encuentran en el Router 4, en función de las señales discretas de la humedad del suelo proveniente de los en los Router 1-2-3.

### 4.3 Implementación y configuración del Sistema

#### 4.3.1 Instalación del Prototipo WSN

Los Router 1-2-3 están desplegados en el área de estudio efectiva de 3477.03m<sup>2</sup> como se aprecia en la Figura 55, para adquirir los datos significativos de temperatura y humedad del suelo, los tres Routers cubren el total del área evaluada.



**Figura 55. Despliegue de Router 1-2-3.**

*Fuente. Elaboración propia*

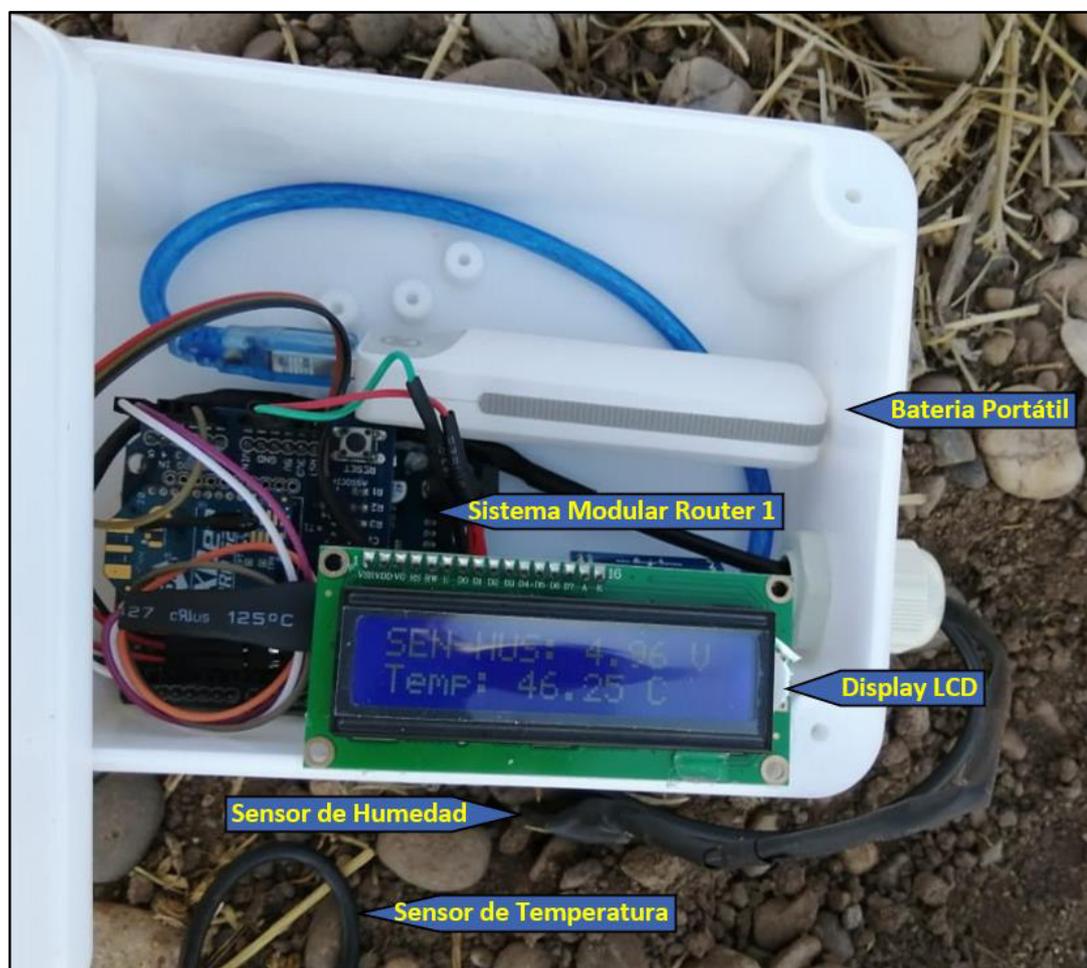
Los módulos se instalan de acuerdo al proceso del ciclo del cultivo de maíz, teniendo en cuenta que, en el ciclo de maduración, los tallos boscosos generan atenuación de la señal RF por la cual se debe considerar una altura de instalación aproximadamente mayor a 30 centímetros, para mejorar la calidad de las comunicaciones de los ruteadores.

En la Figura 56 se observa la instalación del sistema fotovoltaico, el Router (impermeabilizado para la protección contra lluvia) y los sensores (alojados a 5 centímetros de profundidad del suelo).



**Figura 56. Instalación individual de los módulos Router 1-2-3.**  
*Fuente. Elaboración propia*

En la instalación del módulo Router 1-2-3, se verifica el correcto funcionamiento del equipo a través de la lectura en el LCD de las variables de temperatura y humedad del suelo. (Ver Figura 57)



**Figura 57. Funcionamiento en campo del Router 1-2-3.**  
*Fuente. Elaboración propia*

En la caja pase se encuentra alojados el controlador Arduino Uno, el módulo XBee, la batería recargable y el LCD. El cableado de los sensores se encuentra impermeabilizadas, utilizando una manga termocontraíble y una prensaestopa.

El grado de protección utilizado en caja pase, IP 55 (Protección contra polvo y chorros de agua), con dimensiones de 150x110x80 mm y fabricado con material PVC.

En la Figura 58 se muestra la instalación del módulo Router 4 con todos sus componentes: Sistema fotovoltaico, batería recargable, controlador Arduino UNO, módulo XBee, sensor UV, sensor temperatura ambiental y humedad relativa alojados en la caja pase.

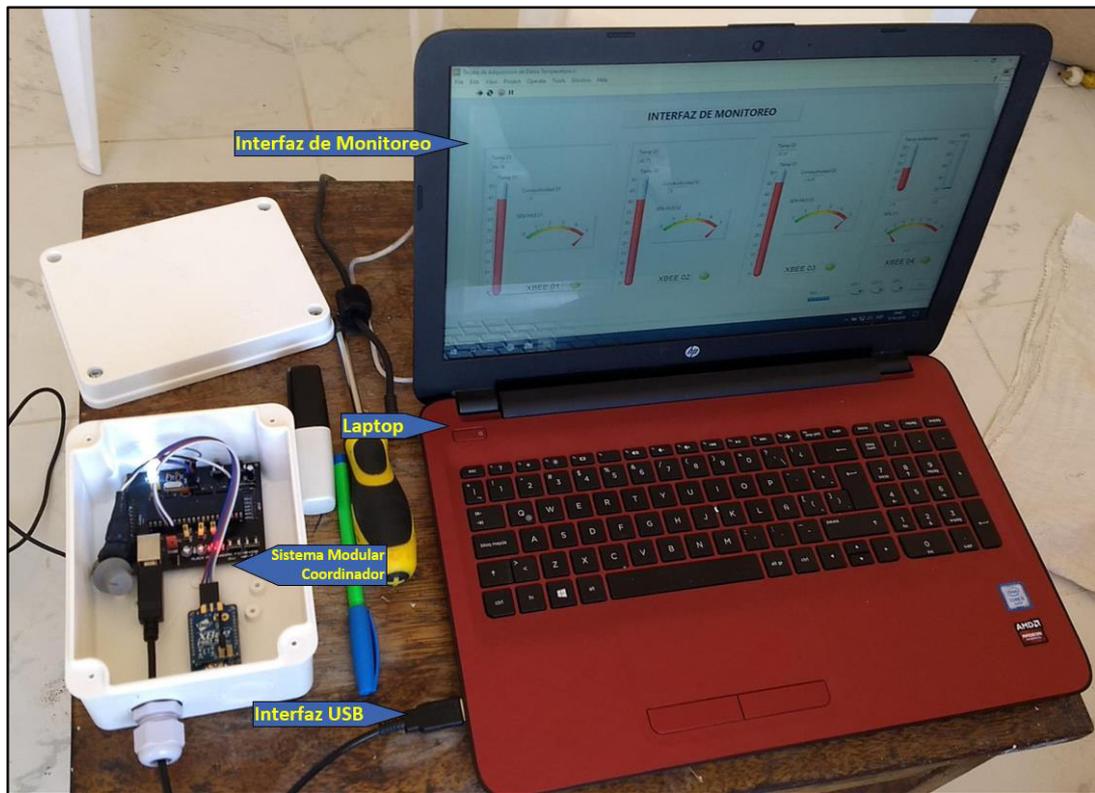


**Figura 58. Instalación del Router 4.**  
*Fuente. Elaboración propia*

El panel solar (7W – 6VDC) empleado se encuentra conectado en paralelo a la batería recargable para mantener su carga de forma estable durante el tiempo del monitoreo.

El módulo Router 4 se ubica próximo al sistema de riego por goteo (Cerca de las electroválvulas) y en campo abierto para tomar valores ambientales. La caja pase empleada posee grado de protección IP 55, que permite impermeabilizar todos los componentes del módulo.

El módulo coordinador se encuentra instalado en la estación de Monitoreo WSAN, ubicada en un segundo piso del local construido en el entorno del terreno evaluado, que mediante una conexión USB 2.0, establece comunicación con la con la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW a través de una Laptop como se aprecia en la Figura 59.



**Figura 59. Instalación de la estación de monitoreo WSAN.**  
Fuente. Elaboración propia

La energía de alimentación necesaria que utiliza el módulo coordinador se obtiene de la Laptop, que a su vez se provee del sistema fotovoltaico instalado. El módulo coordinador tiene la opción de ser alimentado con una batería recargable externa para operar de forma aislada en la adquisición de dato del terreno.

Se utiliza una caja pase con un grado de protección IP 55 y una prensaestopa que permite proteger todos dispositivos del módulo coordinador.

El Sistema Fotovoltaico implementado se ubica en la estación de monitoreo WSAN. (Ver Figura 60)



**Figura 60. Instalación de Sistema Fotovoltaico.**  
*Fuente. Elaboración propia*

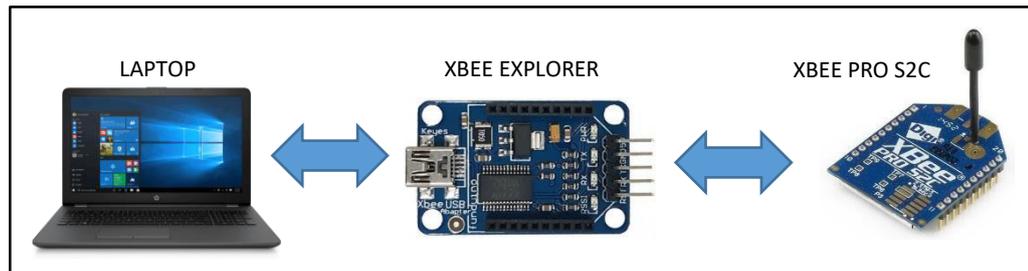
El panel solar de 150W, observado en la Figura 61, se encuentra instalado con una inclinación de  $15^\circ$  en la azotea de la estación de monitoreo.



**Figura 61. Instalación de Panel Solar.**  
*Fuente. Elaboración propia*

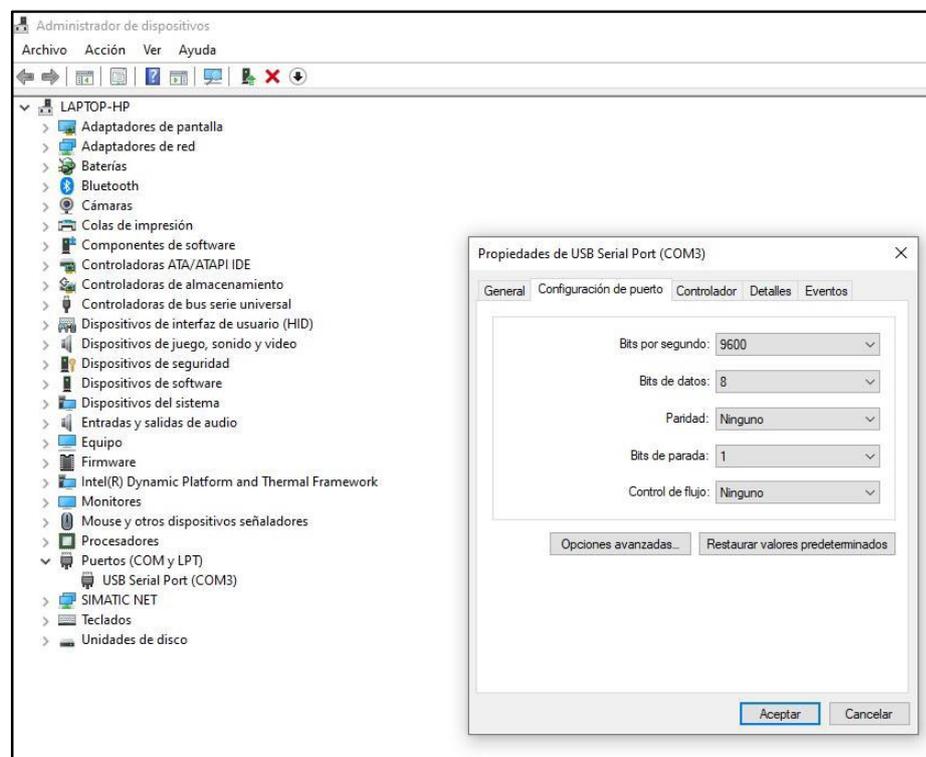
### 4.3.2 Configuración de Módulos XBee con XCTU

El XBee Explorer permite conectar el XBee PRO S2C y la Laptop, estableciendo una comunicación bidireccional serial emulada a través de un puerto USB 2.0. (Ver Figura 62)



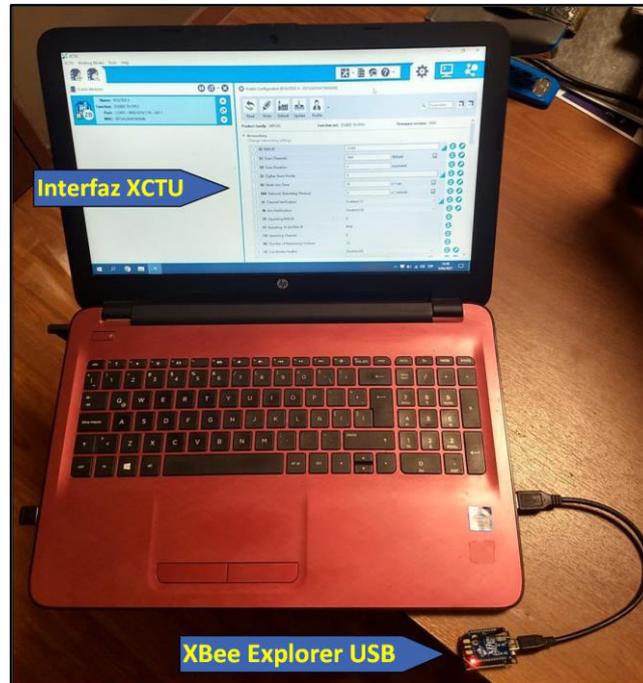
**Figura 62. Interfaz XBee Explorer USB.**  
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 63, se configura en la Laptop el puerto USB Serial (COM3) a 8bits, con una velocidad de 9600 Baudios y un bit de parada.



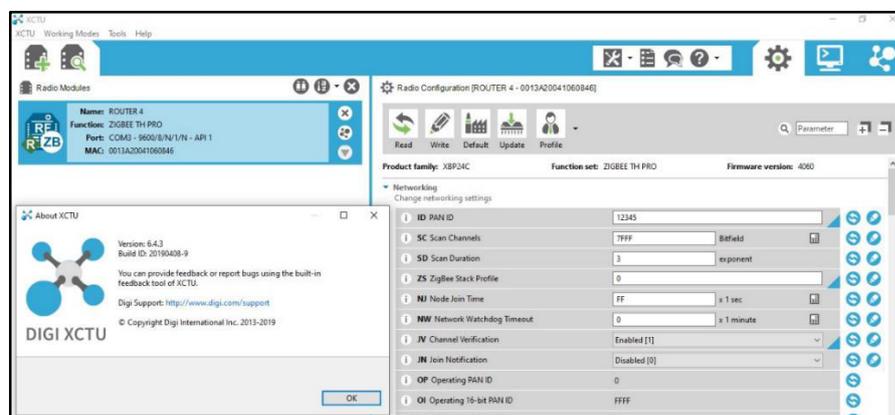
**Figura 63. Configuración de puerto Serial XBee Explorer.**  
Fuente. Elaboración propia

El programa XCTU, instalado en la Laptop en un sistema operativo Windows 10, habilita una interfaz gráfica de configuración para módulo XBee PRO S2C como se muestra en Figura 64.



**Figura 64. Conexión del XBee Explorer USB con LAPTOP.**  
Fuente. Elaboración propia

La versión utilizada del XCTU es la 6.4.3, que es compatible con la Serie 2C del XBee. En XCTU se obtiene las características, como la versión de Firmware, el numero MAC, entre otras. (Ver Figura 65).



**Figura 65. Interfaz de configuración del XCTU.**  
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 66 se observa la configuración de la red (Networking Settings) del módulo XBee. Se crea el identificador de la red (PAN ID) que se utiliza para comunicar todos los XBee en una misma red, en los canales de exploración (SC) se establece el valor por defecto 0x7FFF que permite verificar los canales disponibles que contamos en red, la duración de escaneo (SD) administra el tiempo que el XBee coordinador escanea los canales disponibles, el tiempo de unión al nodo (NJ) y el tiempo de espera de vigilancia de la red (NW) se asignan con valores por defecto, la verificación de canal (JV) se habilita (Enable [1]) el cual posibilita verificar si el coordinador de la red se encuentra en un canal operativo, y la habilitación del coordinador (CE) se utiliza para fijar el coordinador de la red (Enable [1]) y los ruteadores utilizados (Disabled [0]).

Parameter	Value	Unit/Type
ID PAN ID	12345	
SC Scan Channels	7FFF	Bitfield
SD Scan Duration	3	exponent
ZS ZigBee Stack Profile	0	
NJ Node Join Time	FF	x 1 sec
NW Network Watchdog Timeout	0	x 1 minute
JV Channel Verification	Enabled [1]	
JN Join Notification	Disabled [0]	
OP Operating PAN ID	0	
OI Operating 16-bit PAN ID	FFFF	
CH Operating Channel	0	
NC Number of Remaining Children	14	
CE Coordinator Enable	Disabled [0]	
DO Device Options	0	Bitfield

**Figura 66. Configuración Networking.**

*Fuente. Elaboración propia*

En la configuración de direccionamiento (Addressing Setting) se visualiza el número de serie alto (SH) y el número de serie bajo (SL) de la dirección MAC compuesta por 64 bits del módulo XBee en configuración, este valor es solo de lectura, único e irreplicable y no se puede modificar. La dirección de destino alta y baja (DH - DL) se establece con un valor por defecto de 0 que permite realizar un Broadcast de la red, el identificador de nodo (NI)

define el nombre del módulo a utilizar, los otros parámetros observados en la Figura 67 se establecen con valores por defecto.

Addressing	
Change addressing settings	
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	41060846
MY 16-bit Network Address	FFFE
MP 16-bit Parent Address	FFFE
DH Destination Address High	0
DL Destination Address Low	0
NI Node Identifier	ROUTER 4
NH Maximum Hops	1E
BH Broadcast Radius	0
AR Many-to-One Route Broadcast Time	FF x 10 sec
DD Device Type Identifier	A0000
NT Node Discovery Backoff	3C x 100 ms

**Figura 67. Configuración Addressing.**

*Fuente. Elaboración propia*

Los parámetros de seguridad (Security Parameters) no se ha definido por no ser requeridos por la naturaleza del prototipo WSA. En la interfaz serie (Serial Interfacing) se ha habilitado el modo de comunicación API (Enable [1]) y el modo de salida predeterminado (Native [0]). (Ver Figura 68)

Security	
Change security parameters	
EE Encryption Enable	Disabled [0]
EO Encryption Options	0 Bitfield
KY Encryption Key	
NK Network Encryption Key	
Serial Interfacing	
Change modem interfacing options	
BD Baud Rate	9600 [3]
NB Parity	No Parity [0]
SB Stop Bits	One stop bit [0]
RO Packetization Timeout	3 x character times
D6 Pin 16 - DIO6/nRTS Configuration	Disable [0]
D7 Pin 12 - DIO7/nCTS Configuration	nCTS flow control [1]
AP API Enable	API enabled [1]
AO API Output Mode	Native [0]

**Figura 68. Configuración Security.**

*Fuente. Elaboración propia*

## 4.4 Pruebas del Sistema

### 4.4.1 Test de Cobertura con XCTU

En el software XCTU se agrega el módulo XBee, denominado ROUTER API, que permite realizar un escaneo de los módulos XBee que se encuentran en red WSN (Coordinador, Router 1-2-3 y Router 4). Esta muestra información de los XBee como el nombre asignado, la función y la dirección MAC como se observa en la Figura 69.

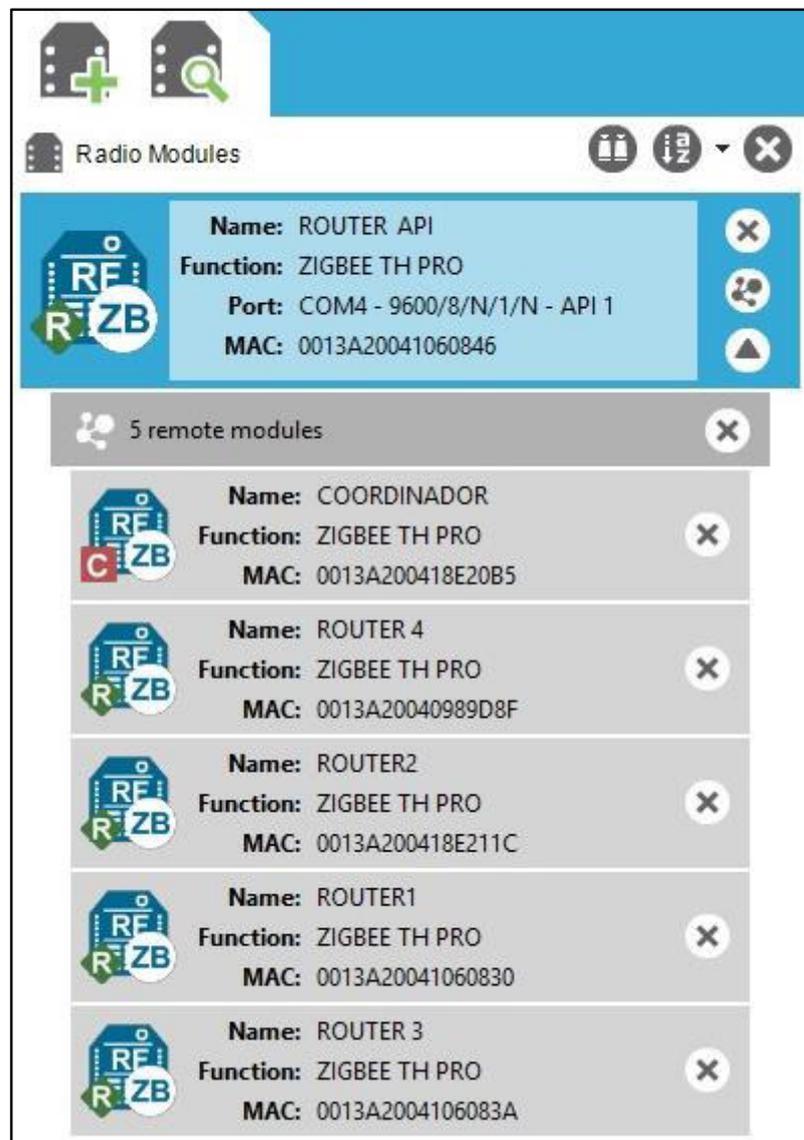
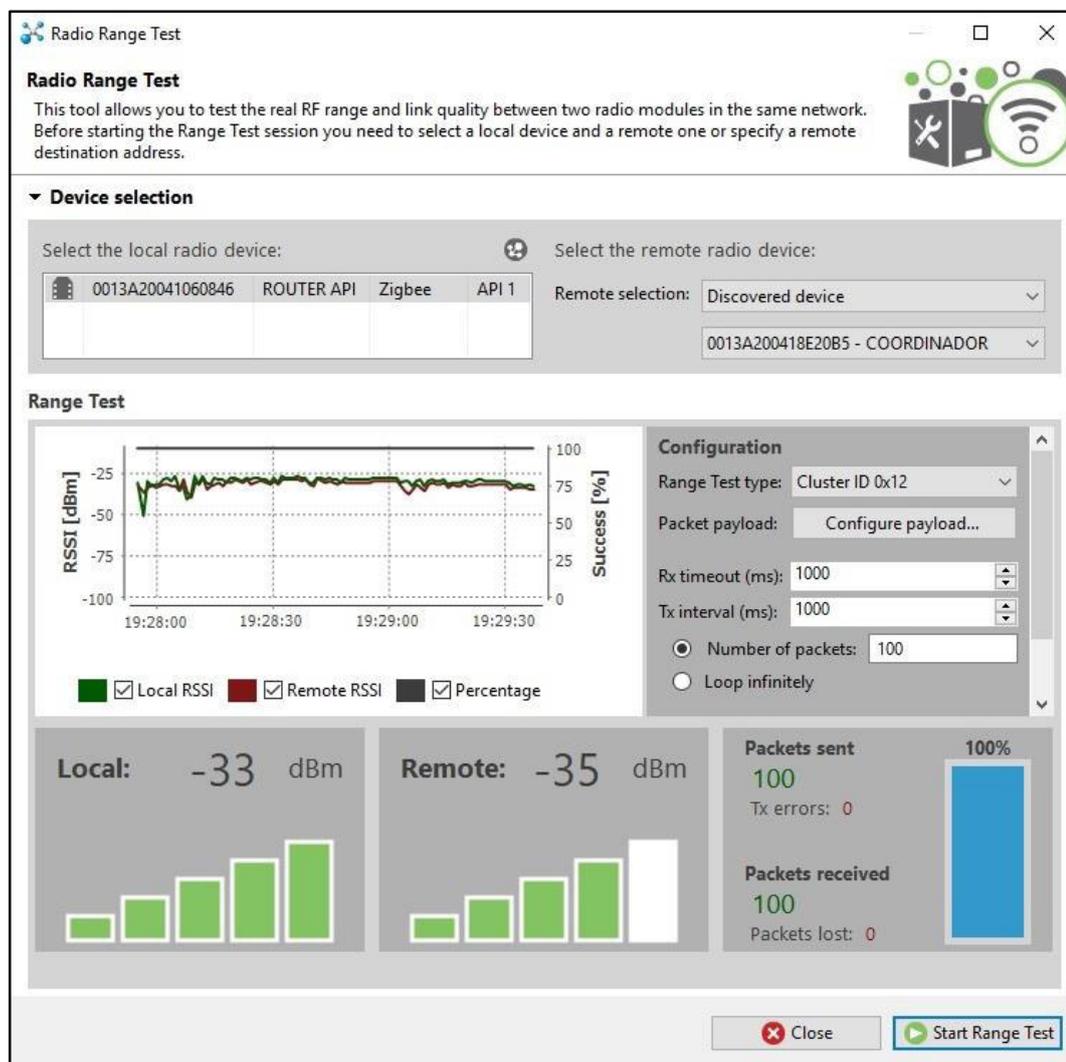


Figura 69. Información los módulos XBee de red WSN.  
Fuente. Elaboración propia



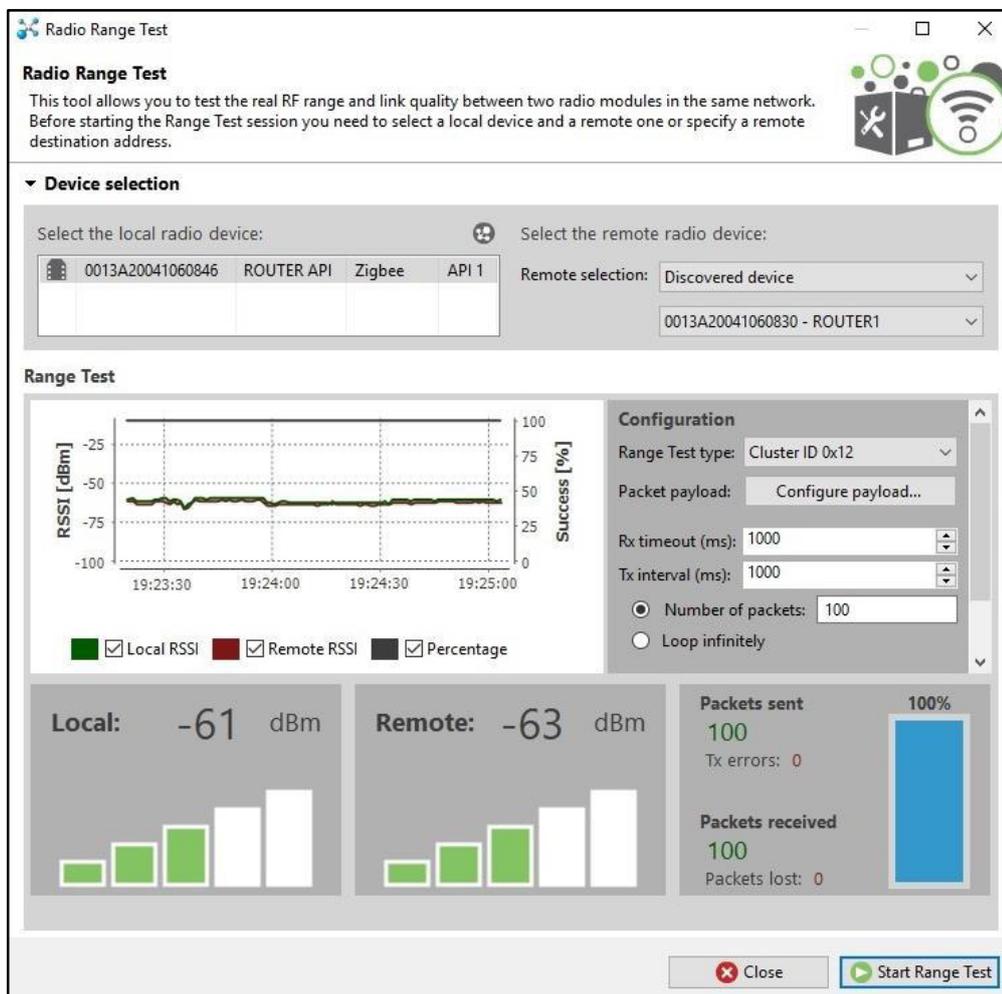
Con la herramienta Radio Range Test del XCTU se prueba el alcance de cobertura real de radio frecuencia y la calidad del enlace entre dos módulos XBee en la red. Se selecciona como dispositivo local el módulo Router API y como dispositivo remoto el módulo Coordinador. (Ver Figura 72)



**Figura 72. Prueba de cobertura entre Router API y Coordinador.**  
Fuente. Elaboración propia

El Indicador del nivel de potencia de las señales recibidas (RSSI) local es de -33 dBm y remoto de -35 dBm, esto representa una óptima cobertura del módulo coordinador. El porcentaje de paquetes de datos enviados y recibidos es de 100%, muestra una excelente calidad de la señal de comunicación entre el Router API y el Coordinador, que están instalados en la estación de monitoreo.

En la Figura 73 se muestra como dispositivo local el módulo Router API y como dispositivo remoto el módulo Router 1.



**Figura 73. Prueba de cobertura entre Router API y Router 1.**

*Fuente. Elaboración propia*

El RSSI local es de -61 dBm y remoto Router 1 de -63 dBm, que encuentra a una distancia aproximada de 35 metros que atraviesa la pared de la estación de monitoreo, representa un 60% del nivel máximo de potencia de la señal recibida. El porcentaje de paquetes de datos enviados y recibidos sigue siendo 100% al igual que en la prueba del módulo Coordinador.

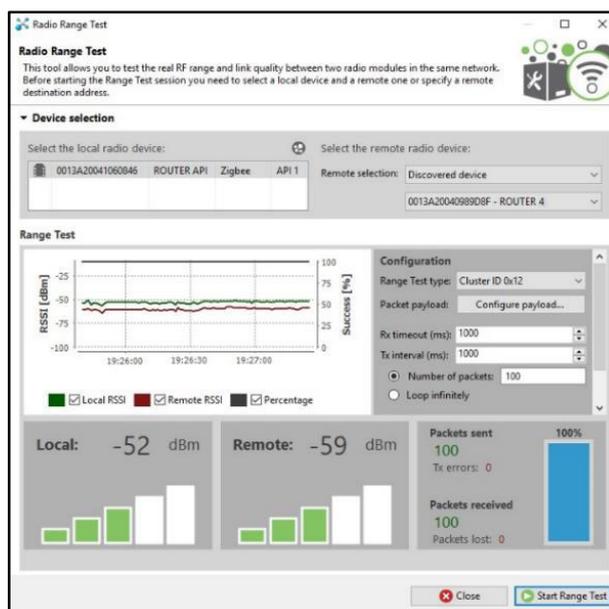
Las pruebas del RSSI del Router 2-3 son similares, con valores en el Router API local de -84 dBm y -89 dBm respectivamente, los remotos Router 2 de -85 dBm y Router 3 de -93 dBm ubicados a 50 y 80 metros

respectivamente. La calidad de la comunicación se mantiene al 100% debido a la topología Malla y protocolo ZigBee. (Ver Figura 74)



**Figura 74. Prueba de cobertura entre Router API y Router 2-3.**  
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 75 se muestra los valores del RSSI del Router 4 que indica un mejor nivel respecto a la lectura a los Router 1-2-3 y se encuentra instalado a 15 metros del Router API.



**Figura 75. Prueba de cobertura entre Router API y Router 4.**  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.4.2 Análisis Espectral con XCTU

La herramienta Spectrum Analyzer en el XCTU permite probar y medir el espectro de la banda de radio seleccionada, el análisis realizado reporta de cada canal, su mejor, peor y promedio de la medida del nivel de ruido. Para empezar la sesión de análisis de espectro se selecciona módulo XBee Router API local. (Ver Figura 76)

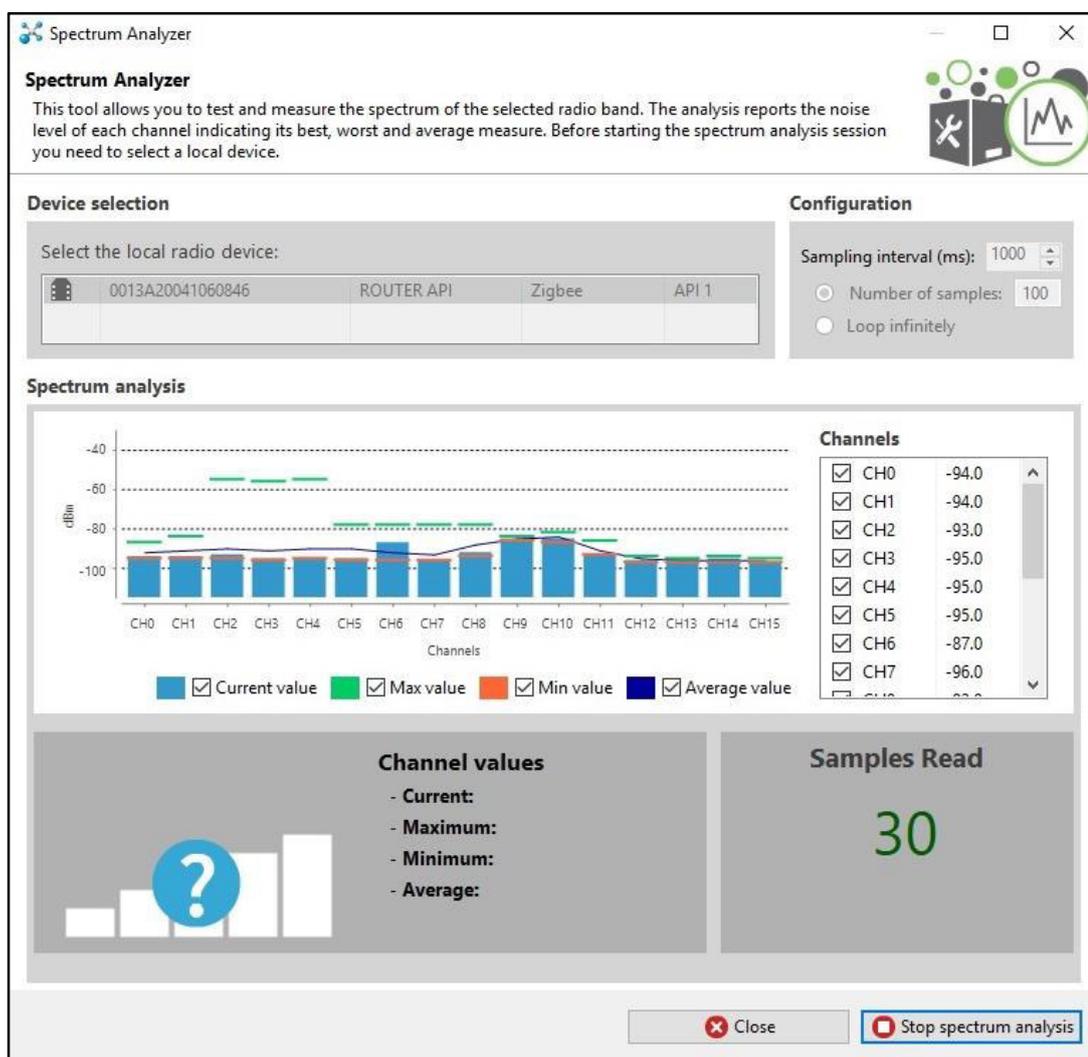


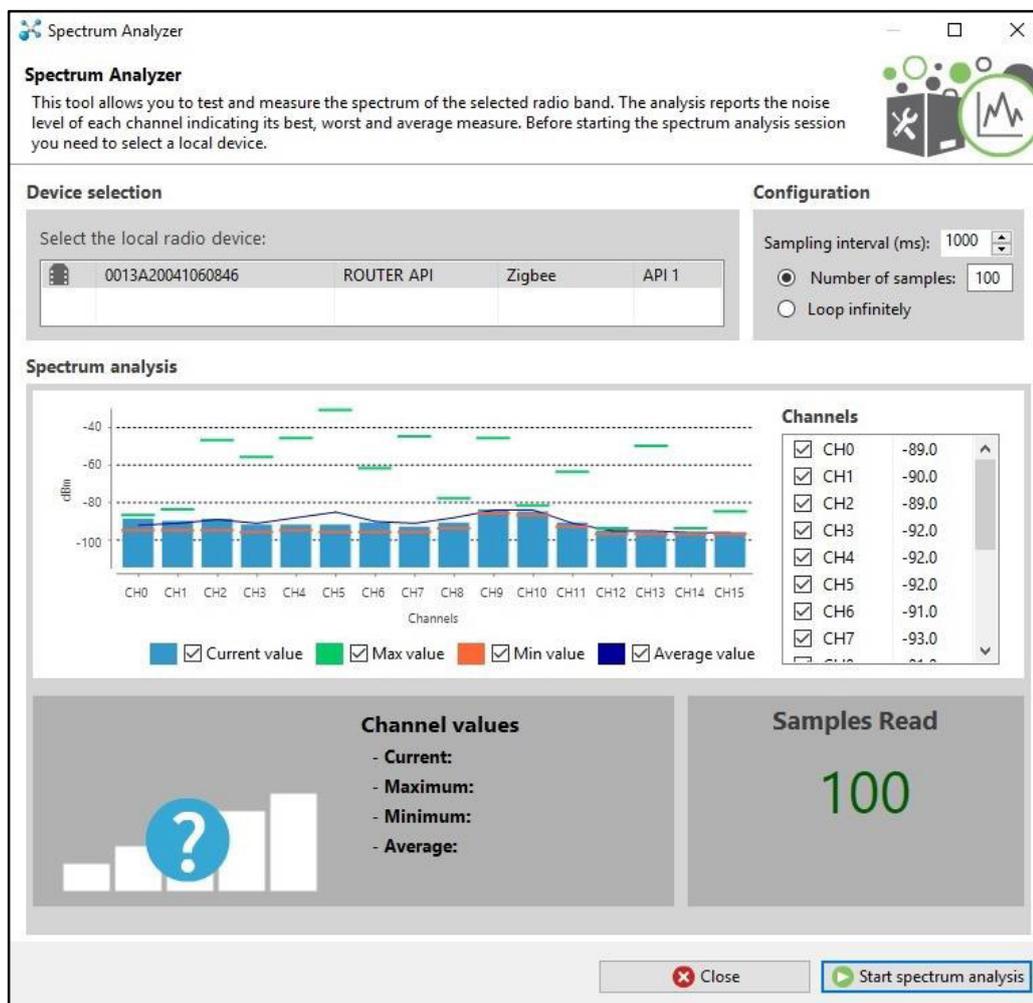
Figura 76. Inicio del análisis Espectral del Router API.

Fuente. Elaboración propia

Se configura el Sampling Interval (intervalo de muestras) que determina el tiempo de espera en milisegundos antes de leer una muestra de nivel de ruido de los canales de RF y se configura el Number Of Samples (Numero de

muestras) a leer en la sesión de análisis espectral. Al presionar el botón Start Spectrum Analysis comienza a leer muestras y medir el nivel de ruido de cada canal de RF.

El la Figura 77 se muestra el gráfico que representa el nivel de ruido (dBm) de los 16 canales de RF que van desde la frecuencia 2.4 GHz a 2.4835GHz con ancho de banda de 5Mhz, de 2Mhz efectivo.



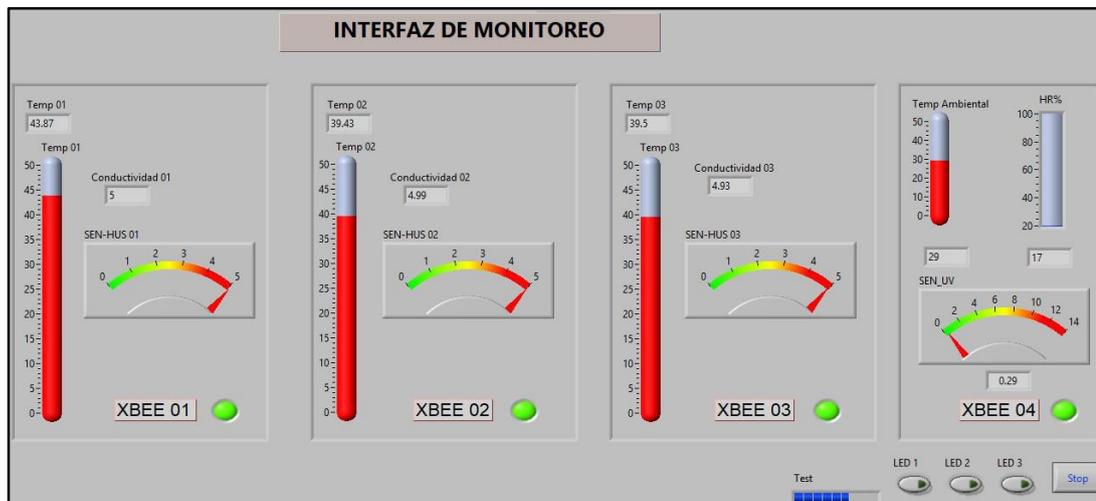
**Figura 77. Fin del análisis Espectral del Router API.**

*Fuente. Elaboración propia*

Al término del análisis espectral se observa que los canales 5, 9 y 10 tienen un valor promedio de nivel de ruido entre -90 dBm a -85 dBm. El canal 5 (CH5) mide un máximo valor mayor a -40 dBm y se muestra que en todos los canales registran un valor mínimo superior a -95 dBm.

#### 4.4.3 Pruebas del sistema WSAN con LabVIEW

En la Figura 78, se muestra la interfaz de monitoreo del prototipo WSAN realizado en el Software LabVIEW 2018. Se obtiene las señales de medición de temperatura y humedad del suelo de los Router 1-2-3, en el Router 4 temperatura ambiental, humedad relativa, radiación UV y el control de las electroválvulas.



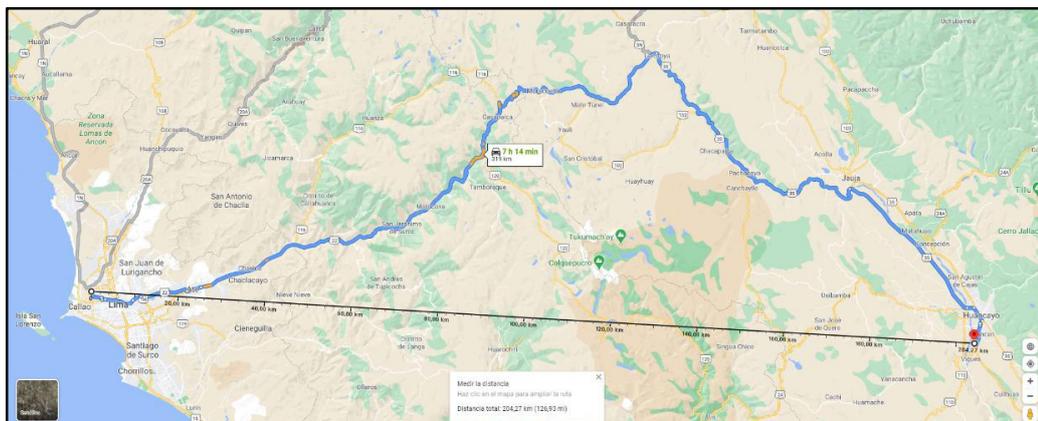
**Figura 78. Prueba de funcionamiento de la Interfaz de Monitoreo.**  
Fuente. Elaboración propia

En la prueba y medición realizada se lee valores instantáneos y promedios en tiempo real de los sensores instalados en el terreno, asimismo, indica el estado de activación de las electroválvulas del sistema del riego por goteo, y su operación en modo manual y automático que controla el estado de humedad del suelo (Conductividad) de 0VDC (Humedecido) a 5VDC (Seco). La activación y desactivación automática de las electroválvulas depende de la humedad y temperatura del suelo medidos por los módulos Router 1-2-3, cuyos márgenes son regulados de acuerdo a la necesidad durante el ciclo del cultivo de Maíz.

Los datos mostrados en la interfaz de monitoreo se almacenan en una hoja de cálculo de Excel que se utiliza para la evaluación del proceso del ciclo del cultivo de Maíz.

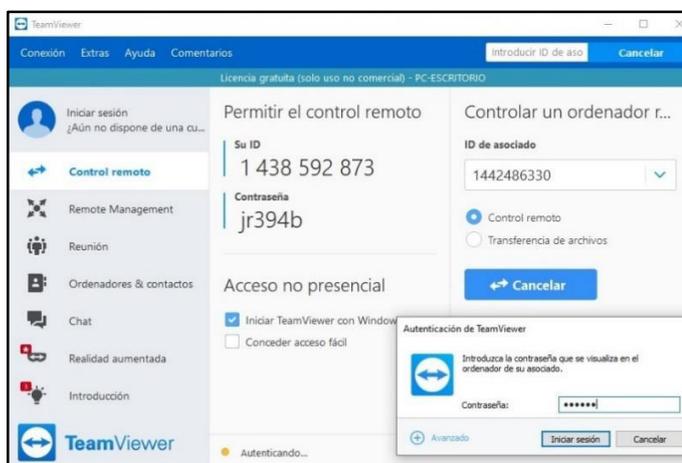
#### 4.4.4 Pruebas Remotas del sistema con TeamViewer

Utilizando los recursos de TeamViewer se realiza las pruebas remotas, desde la oficina de monitoreo ubicada en el centro comercial “Santa Rosa” distrito del Callao y la estación de monitoreo local en el distrito de Huayucachi. La distancia punto a punto es aproximadamente de 204.27 km y por carretera de 319 km en las dos estaciones de monitoreo. (Ver Figura 79)



**Figura 79. Distancia de la prueba de Remota.**  
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 80, se muestra la ventana de sesión del TeamViewer donde se configura el ID de asociado y la contraseña respectiva de la estación de monitoreo local, logrando establecer comunicación.



**Figura 80. Interfaz del TeamViewer.**  
Fuente. Elaboración propia

Al iniciar sesión con el TeamViewer, se observa en la Figura 81 la interfaz de monitoreo local del prototipo WSAN.



**Figura 81. Estación de Monitoreo Local.**  
*Fuente. Elaboración propia*

La estación de monitoreo se visualiza desde diversas plataformas digitales teniendo instalado la aplicación de TeamViewer (Ordenador, Tablet y Smartphone). El monitoreo remoto se puede realizar desde cualquier lugar donde se cuente con conectividad a Internet. (Ver Figura 82).



**Figura 82. Estaciones de Monitoreo de Remoto Múltiple Plataformas.**  
*Fuente. Elaboración propia*

## 4.5 Evaluación del Ciclo del Proceso de Cultivo de Maíz

### 4.5.1 Ciclo del Proceso de Cultivo de Maíz.

Se establece como marco de referencia el ciclo del proceso de cultivo de maíz de acuerdo a las 4 estaciones del año y condiciones ambientales del terreno evaluado en Huayucachi. En el Cuadro 5 se muestra los periodos definidos durante fecha del 01 de setiembre del 2019 al 30 de agosto del 2020.

**Cuadro 5. Ciclo del proceso de cultivo de maíz 2019 - 2020.**

CICLO DEL PROCESO DE CULTIVO DE MAÍZ (2019 - 2020)											
Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Periodo de Preparación de Terreno	Periodo de Siembra	Periodo de Crecimiento					Periodo de Cosecha	Periodo de Helada y Sequia			
		Cultivo y Recultivo	FloreCIMIENTO	Maduración							
1/09/2019 a 15/10/2019	16/10/2019 a 15/11/2019	16/11/2019 a 31/12/2019	01/01/2020 a 15/02/2020	16/02/2020 a 15/03/2020	16/03/2020 a 30/04/2020	01/05/2020 a 30/08/2020					

*Fuente. Elaboración propia.*

El Periodo de Preparación de Terreno se establece como fecha promedio desde el 01/09/2019 al 15/10/2019, el Periodo de Siembra del 16/10/2019 al 15/11/2019, el Periodo de Crecimiento del 19/11/2019 al 15/03/2020 (Cultivo y Recultivo, Florecimiento, Maduración), el Periodo de Cosecha del 16/03/2020 al 30/04/2020 y el Periodo de Helada y Sequia del 01/05/2020 al 30/08/2020.

Se instala el Prototipo WSAW en cada periodo definido del Ciclo de Cultivo de Maíz, iniciando desde el Periodo de Preparación del terreno y terminando en el Periodo de Helada y Sequía, donde se mide la temperatura y humedad del suelo además la temperatura ambiental, humedad relativa y índice de radiación UV, para la recolección de datos y almacenamiento, luego analizar y evaluar sus condiciones óptimas y adversas del terreno.

#### 4.5.2 Adquisición de datos del Prototipo WSA.

Los datos recolectados con el Prototipo WSA se almacenan en una hoja de Excel como se observa en el Cuadro 6, que corresponde al periodo de preparación de terreno de cultivo de Maíz.

**Cuadro 6. Adquisición de datos en hoja de Excel.**

PERIODO DE PREPARACIÓN DE TERRENO												
Nº	FECHA - HORA	ROUTER 01		ROUTER 02		ROUTER 03		ROUTER 04			PROMEDIO ROUTER 1-2-3	
		Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temp. Ambiental (°C)	Humedad Relativa (HR%)	Radiación UV	Temp. Promedio (°C)	Conductividad
1	0	17.06	4.95	17.75	4.95	16.98	4.95	14	79	0.00	17.26	4.95
2	1	16.68	4.95	17.31	4.95	16.68	4.95	14	79	0.00	16.89	4.95
3	2	15.62	4.95	16.12	4.95	15.62	4.95	14	79	0.00	15.79	4.95
4	3	14.68	4.95	15.93	4.95	14.68	4.95	14	79	0.00	15.10	4.95
5	4	13.50	4.95	14.52	4.95	13.35	4.95	14	79	0.00	13.79	4.95
6	5	13.44	4.95	13.42	4.95	13.50	4.95	14	79	0.00	13.45	4.95
7	6	13.45	4.95	13.43	4.95	13.51	4.95	14	79	0.00	13.46	4.95
8	7	14.00	4.95	14.02	4.95	14.00	4.95	14	79	0.13	14.01	4.95
9	8	15.05	4.95	15.05	4.95	15.05	4.95	14	79	0.29	15.05	4.95
10	9	16.50	4.95	16.50	4.95	16.50	4.95	14	79	0.38	16.50	4.95
11	10	19.10	4.95	19.10	4.95	19.10	4.95	16	78	0.51	19.10	4.95
12	11	22.97	4.95	22.97	4.95	22.97	4.95	18	78	0.62	22.97	4.95
13	12	30.14	5.00	30.14	5.00	30.14	5.00	25	78	0.72	30.14	5.00
14	13	35.39	5.00	35.39	5.00	35.39	5.00	30	78	0.72	35.39	5.00
15	14	40.05	5.00	40.05	5.00	40.05	5.00	30	78	0.71	40.05	5.00
16	15	42.75	5.00	42.31	5.00	42.12	5.00	29	78	0.62	42.39	5.00
17	16	39.61	5.00	40.51	5.00	41.51	5.00	28	78	0.57	40.54	5.00
18	17	32.25	5.00	32.25	5.00	30.15	5.00	21	78	0.29	31.55	5.00
19	18	25.81	4.96	25.06	4.96	23.37	4.96	17	78	0.11	24.75	4.96
20	19	24.31	4.96	24.12	4.96	21.81	4.96	16	78	0.00	23.41	4.96
21	20	22.06	4.96	22.50	4.96	20.00	4.96	15	78	0.00	21.52	4.96
22	21	20.25	4.96	20.87	4.95	18.37	4.95	14	79	0.00	19.83	4.95
23	22	18.81	4.95	19.50	4.95	17.70	4.95	13	79	0.00	18.67	4.95
24	23	18.06	4.95	18.81	4.95	17.45	4.95	14	79	0.00	18.11	4.95

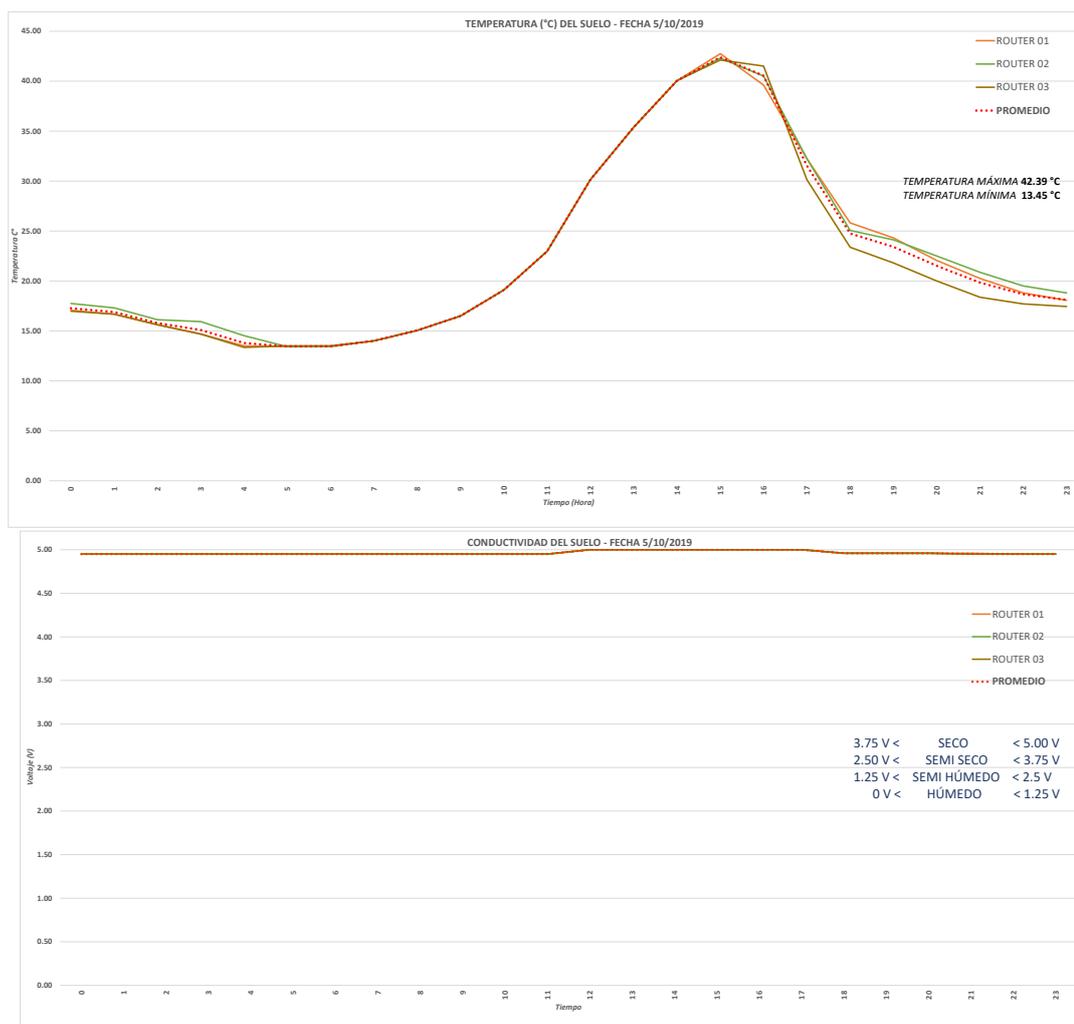
Fuente. Elaboración propia.

En el ANEXO J se detalla la adquisición de todos los datos en 7 cuadros que corresponden al Periodo de Preparación de Terreno, Siembra, Crecimiento (Cultivo y Recultivo, Florecimiento y Cosecha), y el Periodo de Helada y Sequía.

La adquisición de datos se realizó en fechas específicas de cada periodo evaluado, con 24 muestra durante 24 horas de los ruteadores y los parámetros medidos por sensores instalados en el terreno evaluado. A partir de los datos recolectados y almacenados se calculan los valores máximos, mínimos y promedios.

#### 4.5.2 Gráficas de datos del Prototipo WSAN.

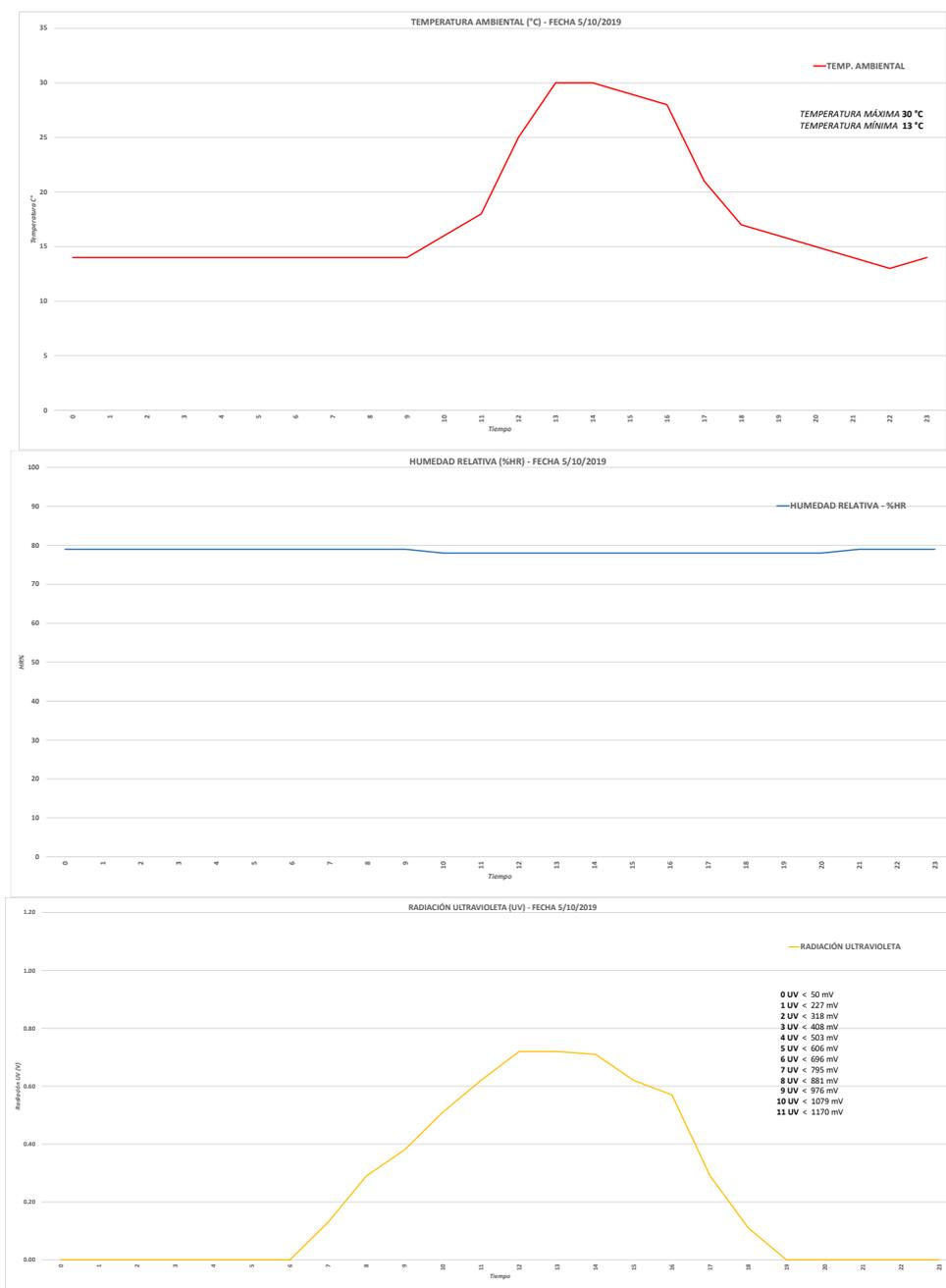
Con los datos adquiridos y almacenados del Ciclo del proceso de Cultivo de Maíz se generan 14 graficas de temperatura y humedad del suelo de cada Periodo que se detalla en el ANEXO K. En la Figura 83 se muestra la gráfica del periodo de preparación de terreno.



**Figura 83. Gráfica de temperatura y humedad del suelo.**  
Fuente. Elaboración propia

En las gráficas de temperatura y humedad del suelo se muestra las curvas de su comportamiento en un rango de 24 horas, que responden a una regresión lineal de los datos adquiridos por los sensores XBee de los Router 1-2-3.

La Figura 84 muestra la gráfica de valores ambientales del periodo de preparación de terreno. Se generan 21 gráficos de temperatura ambiental, humedad relativa y radiación UV del Ciclo del proceso de Cultivo de Maíz obtenidas del Router 4, detalladas en el ANEXO K para su análisis y evaluación.



**Figura 84. Gráfica de valores ambientales.**  
Fuente. Elaboración propia

## **CAPITULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 Pruebas de hipótesis**

De acuerdo a las pruebas realizadas en prototipo WSAN comprobamos la hipótesis general y específicas planteadas en el capítulo 3 de la metodología.

#### ***5.1.1 Verificación de la Hipótesis General***

Se verifica la hipótesis general con las pruebas de campo realizadas con el prototipo WSAN, recolectando y procesando los datos del terreno, que es posible evaluar y controlar el proceso del cultivo de maíz en Huayucachi mediante el diseño e implementación de una red Inalámbrica de sensores y actuadores, para mejorar su producción.

#### ***5.1.2 Verificación de las Hipótesis Específicas***

H.E.1: Esta hipótesis se seleccionan los parámetros y dispositivos de evaluación y control en el proceso de cultivo de maíz, que mide la temperatura y la humedad del suelo, la humedad relativa, la temperatura ambiental y la radiación UV. (Desarrollado en el subcapítulo 4.1.2)

H.E.2: Esta hipótesis se corrobora con el diseño del prototipo WSAN que utiliza tecnología XBee, que mide parámetros ambientales y de suelo de cultivo de maíz favorablemente. (Desarrollado en el subcapítulo 4.2)

H.E.3: Esta hipótesis se constata, en el prototipo implementado que evalúa y controla las señales captadas por los sensores y actuadores, que permiten obtener las condiciones favorables y adversas que afectan el proceso de cultivo de maíz. (Desarrollados en los subcapítulos 4.3, 4.4 y 4.5)

## 5.2 Presentación de resultados.

De acuerdo a los datos adquiridos del terreno evaluado con el prototipo WSAN, se elaboró 7 cuadros correspondiente al ciclo del proceso de cultivo de maíz durante del periodo 2019-2020, como se muestra en el ANEXO J. A partir de estos cuadros se elabora 35 gráficos donde se muestra la temperatura y humedad del suelo (conductividad), temperatura ambiental, humedad relativa y radiación UV en cada periodo del ciclo del proceso de cultivo de maíz. (Ver ANEXO K).

En la Figura 85 se especifica el gráfico resumen de temperatura y humedad del suelo del periodo anual 2019-2020, donde se detalla los valores máximos y mínimo de temperatura del suelo: En el periodo de preparación de (setiembre – octubre) un valor máximo de 42.39°C y mínimo de 13.45°C, en el periodo de siembra (octubre – noviembre) un valor de 30.23°C y 14.94°C, en el periodo de cultivo y recultivo (noviembre – diciembre) un valor de 25.14°C y 17.49°C, en el periodo de florecimiento (enero y febrero) un valor de 20.25°C y 18.05°C, en el periodo de maduración (febrero – marzo) un valor de 20.91°C y 18.34°C, en el periodo de cosecha (marzo - abril) un valor de 25.14°C y 13.99°C, y en el periodo de helada y sequía (mayo – agosto) un valor de 30.76°C y 10.25°C respectivamente. Respecto a la humedad del suelo (conductividad) en el mismo gráfico se muestra los valores promedios en formas de barras en cada periodo del ciclo del cultivo de maíz especificado en el cada caso de la temperatura del suelo.

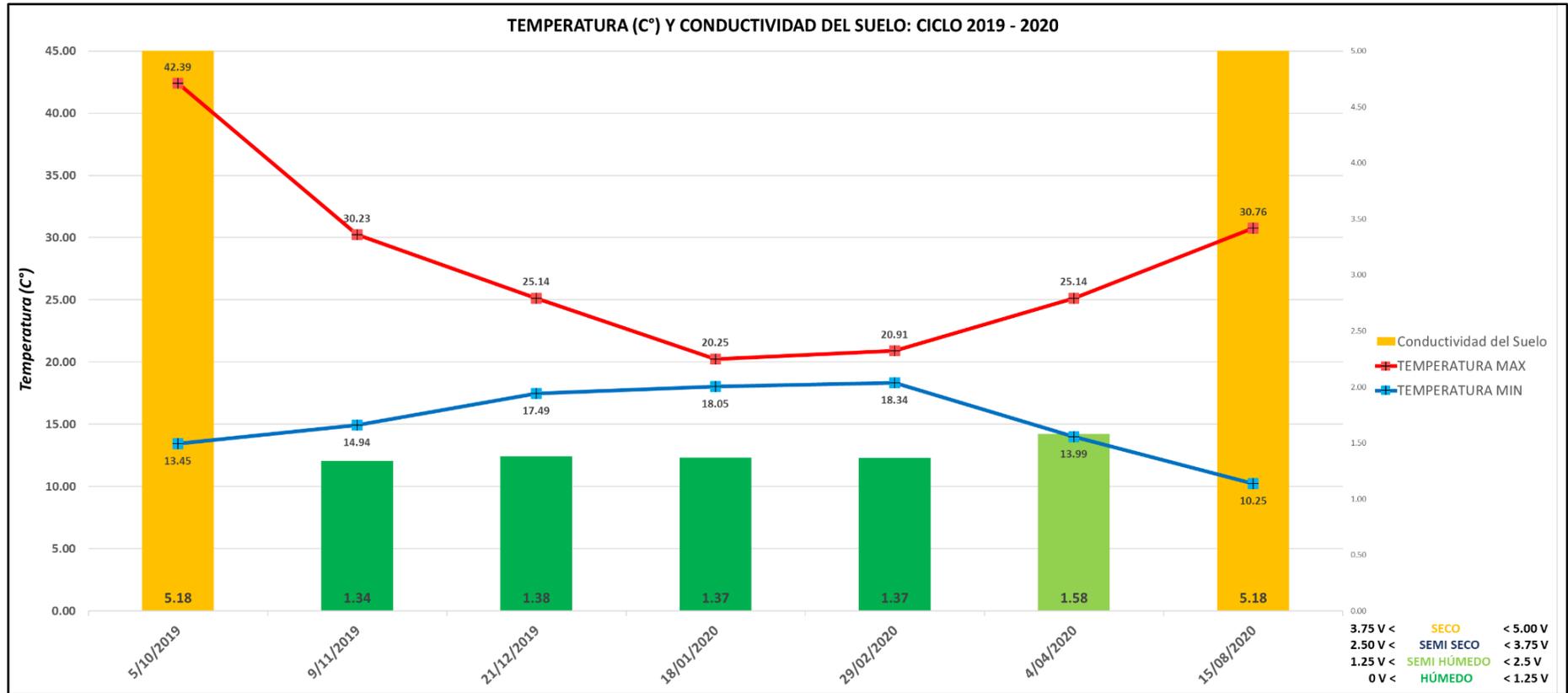


Figura 85. Gráfico resumen de temperatura y humedad del suelo: Ciclo 2019-2020.

Fuente. Elaboración propia

En el periodo de preparación de terreno se observa una conductividad con valor promedio de 4.96 Voltios que representa un suelo seco que se prolonga del periodo anterior (helada y sequía). La conductividad del suelo aumenta (disminuye el voltaje a 1.28V) a partir del inicio de las precipitaciones de lluvia a mediados del mes de octubre, del periodo de siembra al periodo de cosecha que se acentúa en los meses de noviembre del 2019 a marzo del 2020 y la diferencia entre la temperatura máxima y mínima se reduce significativamente.

En la Figura 86 se muestra los datos recolectados por el Router 4, donde se especifica los valores máximos y mínimo de temperatura ambiental y el promedio de la humedad relativa (HR%): En el periodo de preparación del terreno un valor máximo de 30°C y mínimo de 13°C con HR de 78.54%, en el periodo de siembra un valor de 22°C y 8°C con HR de 81.08%, en el periodo de cultivo y recultivo un valor de 20°C y 8°C con HR de 81.13%, en el periodo de florecimiento un valor de 20°C y 8°C con HR de 81.13%, en el periodo de maduración un valor de 19°C y 8°C con HR de 81%, en el periodo de cosecha un valor de 19°C y 8°C con HR de 81.13%, y en el periodo de helada y sequía un valor de 23°C y 7°C con HR de 74.71% respectivamente.

De los valores obtenidos en el entorno del terreno, en los meses de helada y sequía el valor mínimo de temperatura tiende a alrededor de cero grados Celsius y la diferencia entre el valor máximo y mínimo se incrementa.

En la Figura 87 se observa la gráfica de radiación UV máxima en cada periodo del cultivo de maíz recolectado a través del Router 4: En el periodo de preparación de terreno un valor máximo de 7UV (0.72V), en el periodo de siembra un valor de 6UV (0.65V), en el periodo de cultivo y recultivo un valor de 6UV (0.55V), en el periodo de florecimiento un valor de 6UV (0.51V), en el periodo de maduración un valor de 6UV (0.52V), en el periodo de cosecha un valor de 6UV (0.62V), y en el periodo de helada y sequía un valor de 6UV (0.66V). Los valores UV se encuentra representados de acuerdo a la leyenda del gráfico presentado.

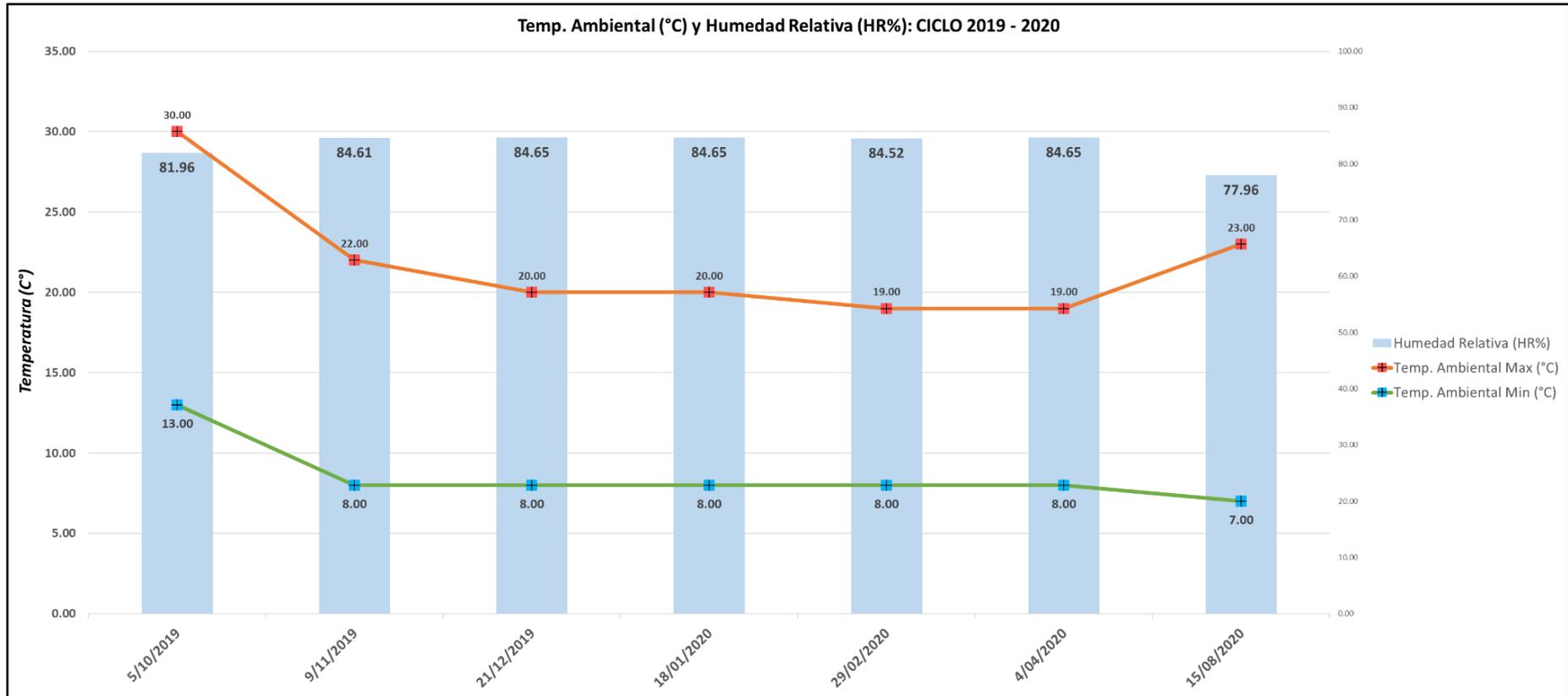


Figura 86. Gráfica de temperatura ambiental y humedad relativa: Ciclo 2019-2020.  
Fuente. Elaboración propia

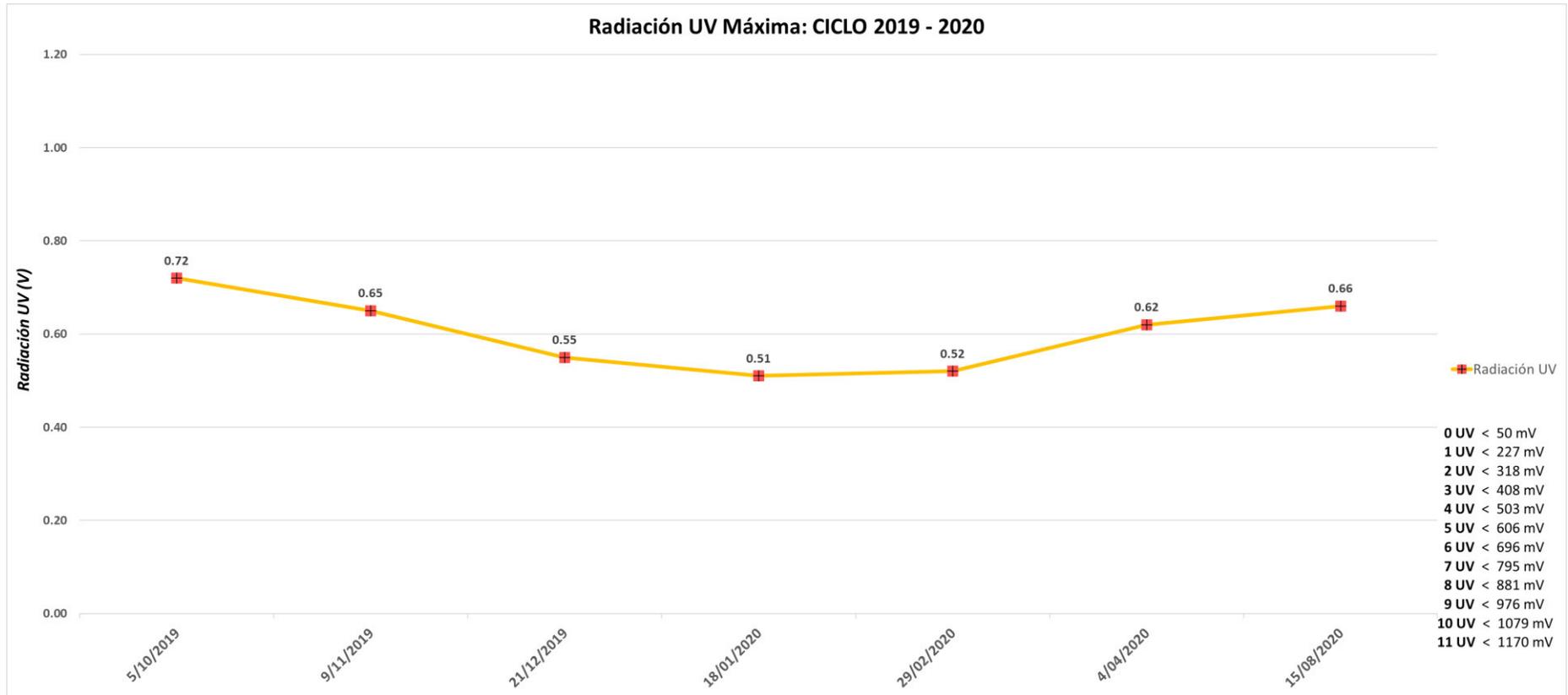


Figura 87. Gráfica de radiación UV máxima: Ciclo 2019-2020.  
 Fuente. Elaboración propia

### 5.3 Análisis, interpretación y discusión de resultados

Los datos recogidos a través del experimento con el prototipo WSAN son muestras representativas del ciclo del proceso de cultivo de maíz de las condiciones reales y naturales del terreno evaluado, con la finalidad de obtener valores referenciales en las mediciones de temperatura y humedad del suelo, temperatura ambiental, humedad relativa y radiación UV. (Ver Cuadro 7)

**Cuadro 7. Resumen de datos del Ciclo 2019 - 2020.**

CICLO 2019 - 2020									
FECHA LECTURAS	Mediciones de Suelo					Mediciones Ambientales			
	Temperatura		Humedad (conductividad)			Temperatura		Humedad Relativa (HR%)	Radiación UV
	MAX. (°C)	MIN. (°C)	MAX.	MIN.	Promedio	Max (°C)	Min (°C)		
05/10/2019	42.39	13.45	5.00	4.95	4.96	30.00	13.00	78.54	0.72
09/11/2019	30.23	14.94	1.54	1.11	1.28	22.00	8.00	81.08	0.65
21/12/2019	25.14	17.49	1.72	1.13	1.33	20.00	8.00	81.13	0.55
18/01/2020	20.25	18.05	1.66	1.13	1.31	20.00	8.00	81.13	0.51
29/02/2020	20.91	18.34	1.64	1.13	1.31	19.00	8.00	81.00	0.52
04/04/2020	25.14	13.99	2.50	1.14	1.59	19.00	8.00	81.13	0.62
15/08/2020	30.76	10.25	5.00	4.95	4.96	23.00	7.00	74.71	0.66

*Fuente. Elaboración propia.*

El inicio de las mediciones se realiza el 5 de octubre del 2019 donde se registra valores altos de temperatura y una baja conductividad del suelo (Seco), producto de la escasez de precipitaciones de lluvias a pesar de encontrarse en la estación de primavera, identificando una condición anómala del clima. En las mediciones de noviembre se muestra una reducción de la temperatura (máxima y mínima) y aumento de la conductividad del suelo producido por el inicio de la época lluviosa que se mantiene hasta el mes de marzo, y en abril se inicia la cosecha donde se reduce las precipitaciones de lluvia. En el mes de mayo se inicia el periodo de la helada y sequía donde las temperaturas son extremas, no siendo aptos para la agricultura del cultivo de maíz.

Analizando los resultados podemos consolidar que en el periodo de Preparación de Terreno oscila entre los meses de setiembre a la quincena de octubre, el Periodo de cultivo del maíz (desde la siembra hasta la cosecha) entre 15 de octubre hasta el 30 de abril y el Periodo de Helada y Sequia entre mayo a agosto. Evaluando los resultados de los datos procesados, el agricultor puede tomar decisiones del tiempo adecuado de la siembra, crecimiento y cosecha de maíz para mejorar su rendimiento.

En Figura 88 se observa el área de prueba del control de riego por goteo, que representa el 1% del área total efectiva de estudio. Esto permite generar condiciones controlables de humedad de suelo en cualquier periodo del proceso de cultivo de maíz, con datos recolectados por los Router 1-2-3 y las señales discretas de control del Router 4, que activa y desactiva las electroválvulas de forma automática.



**Figura 88. Control de riego por goteo.**  
*Fuente. Elaboración propia*

El riego por goteo nos permite superar condiciones anómalas como granizadas, sequías prolongadas y heladas intempestivas producidas por fenómenos climáticos de la naturaleza, que conllevan a una baja productividad o pérdida total de la cosecha de maíz. En estas condiciones adversas el agricultor realiza una inversión de alto riesgo con la posibilidad de quiebra.

## CAPITULO 6: IMPACTOS – ANÁLISIS ECONÓMICO

### 6.1 Costos de Implementación de la propuesta

En el cuadro 8 se detalla el presupuesto del diseño e implementación del proyecto, distribuidos por rubros: Costo de ingeniería y costo de dispositivos, equipos y materiales para el prototipo WSAN que asciende a una suma de inversión total de S/. 14,165.00.

**Cuadro 8. Presupuesto del desarrollo del proyecto.**

PRESUPUESTO DISTRIBUIDO POR RUBROS					
N°	TIPO DE INVERSION	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C/U	COSTO TOTAL
1	Costo de ingeniería	Desarrollo de Ingeniería	1	5,000.00	5,000.00
2		Pruebas y ensayos	7	150.00	1,050.00
3	Costo de dispositivos, equipos y materiales para el Prototipo WSAN	Módulo XBee PRO S2C	6	150.00	900.00
4		Arduino Uno	4	50.00	200.00
5		Shield XBee	4	25.00	100.00
6		XBee Explorer USB	1	25.00	25.00
7		Sensor de Temperatura Ambiental y Humedad Relativa SHT31	1	35.00	35.00
8		Sensor de Radiación UV	1	55.00	55.00
9		Baterías Recargable USB 2500mAH	4	50.00	200.00
10		Panel Fotovoltaico 7W – 6V	4	50.00	200.00
11		Tarjeta Entrenadora PIC18F4550	1	100.00	100.00
12		Electroválvula NC - 12V	2	25.00	50.00
13		Kit riego por goteo	1	300.00	300.00
14		Kit del sistema Solar (Panel de 150W, Regulador de Carga, Batería 100AH e Inversor 600W)	1	1,200.00	1,200.00
15		Otros accesorios (Cajas pases, prensaestopas, cables, etc)	1	250.00	250.00
16		Laptop i3	1	2,000.00	2,000.00
17		Laptop i5	1	2,500.00	2,500.00
Sub-Total					12,004.24
IGV (18%)					2,160.76
<b>Total (S/.)</b>					<b>14,165.00</b>

Fuente. Elaboración propia.

## **6.2 Beneficios que aporta la propuesta**

El Prototipo WSAN implementado permite evaluar y controlar terrenos de cultivo de maíz, a partir de la difusión de sus beneficios que ofrece en el entorno geográfico local, regional y nacional, principalmente favoreciendo a los agricultores del distrito de Huayucachi, que cultivan maíz en su mayoría. El prototipo posee características de adaptabilidad y escalabilidad para otras aplicaciones tales como: Invernaderos convencionales, invernaderos hidropónicos, piscigranjas, incubadoras de huevos, cámaras frigoríficas, granjas avícolas, entre otras aplicaciones.

El bajo costo, bajo consumo de energía, durabilidad, robustez e interfaz amigable para el usuario del prototipo, facilita el despliegue e implementación de esta tecnología en cualquier ambiente donde se requiera su aplicación.

Para adaptar el proyecto en cualquier aplicación se requiere modificar el programa, adecuar los sensores y actuadores necesarios a utilizar, con conocimientos de electrónica, telecomunicaciones y programación en lenguaje C para los módulos ruteadores y lenguaje G (Gráfico) para el entorno de monitoreo de LabVIEW.

## **CONCLUSIONES**

El diseño e implementación del prototipo de una red inalámbrica de sensores y actuadores evalúa y controla el proceso de cultivo de maíz en el distrito de Huayucachi, Huancayo.

Se selecciona los parámetros y dispositivos en el diseño del prototipo basado en módulos de sensores y actuadores inalámbricos para evaluar y controlar el proceso de cultivo de maíz.

Se diseña el hardware y software del prototipo de la red inalámbrica XBee de sensores y actuadores, que mide parámetros ambientales y de suelo de cultivo de maíz.

Se implementa, configura y se realizan pruebas de campo con el prototipo WSN que permiten obtener las condiciones favorables y adversas que afectan el proceso de cultivo de maíz.

Con el prototipo WSN diseñado e implementado se logra cumplir con los objetivos planteados al inicio de la presente tesis, esperando que los aportes de las telecomunicaciones a la agricultura sean aprovechados en la reducción de las condiciones adversas del proceso de cultivo de maíz y en la mejora de la productividad.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda identificar previamente las dimensiones del terreno a evaluar para determinar correctamente la cantidad de sensores y actuadores a utilizar.

Utilizar sensores de mayor resolución y precisión para obtener mejores lecturas en las mediciones realizadas.

En instalación de los sensores y actuadores se debe dimensionar, de acuerdo a la ubicación geográfica, el sistema fotovoltaico utilizado, calcular la distancia de cobertura máxima de los módulos XBee y acondicionar y guardar los datos en la interfaz gráfica en LabVIEW de acuerdo a la aplicación.

Establecer y acondicionar los límites máximos y mínimos de los sensores de conductividad del suelo, para generar las señales de alarma y control en el sistema de riego por goteo.

Tener conocimientos fundamentales de agricultura, en especial del cultivo de maíz, para una correcta evaluación y control del terreno del cultivo.

Implementar el prototipo WSN en un invernadero para optimizar el proceso de cultivo de maíz en cualquier estación del año.

En otras aplicaciones se requiere modificar hardware y software siguiendo los procedimientos de diseño del prototipo de la red inalámbrica de sensores y actuadores.

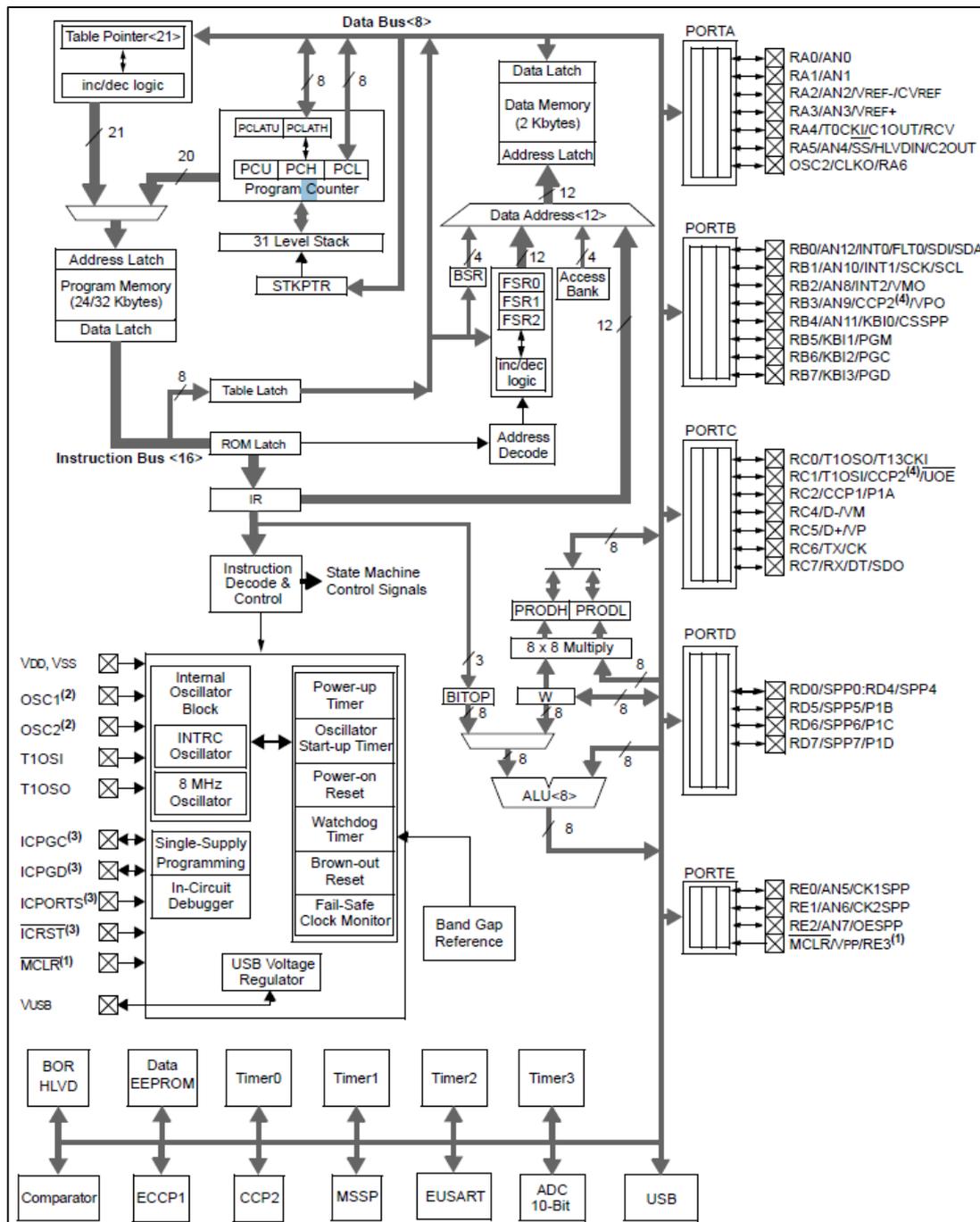
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán León, F. X. (2019). Mejoramiento de un protocolo de sincronización en redes WSN. (*Tesis de Posgrado*). Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20082/1/CD-9524.pdf>
- Culman Forero, M. A. (2018). Método de Fusión de datos aplicado a las redes Inalámbricas de sensores para apoyar la toma de decisiones en la gestión de cultivos de Palma de Aceite. (*Tesis de Posgrado*). Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, Ecuador. Obtenido de [https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/3549/2018\\_Tesis\\_Culman\\_Forero\\_Maria\\_Alejandra.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/3549/2018_Tesis_Culman_Forero_Maria_Alejandra.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- DITECNOMAKERS. (2018). *Higrómetro de suelo FC-28*. Obtenido de DITECNOMAKERS: <https://ditecnomakers.com/medir-la-humedad-de-la-tierra-con-arduino-y-un-higrometro-fc-28/>
- EPG-UNALM. (2010). *Primer congreso peruano de mejoramiento genético y biotecnología agrícola*. Obtenido de Researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/281201871\\_Genetic\\_diversity\\_of\\_loche\\_Cucurbita\\_moschata\\_Duchesne\\_ex\\_Lam\\_cultivated\\_in\\_Lambayeque\\_Peru\\_assessed\\_with\\_SSR\\_markers](https://www.researchgate.net/publication/281201871_Genetic_diversity_of_loche_Cucurbita_moschata_Duchesne_ex_Lam_cultivated_in_Lambayeque_Peru_assessed_with_SSR_markers)
- Gamarra Sánchez, G. (2020). *Comportamiento de poblaciones de maíz amiláceo de la variedad Blanco del Cusco en el valle del Mantaro, Perú*. Obtenido de UNITRU: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/3228>
- Guaña Moya, E. J. (2016). Diseño de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura. (*Tesis de Posgrado*). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16809>
- INEI. (2018). *Compendio Estadístico Perú 2018 - Agrario*. Obtenido de INEI: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1635/cap13/cap13.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1635/cap13/cap13.pdf)

- INIA. (2018). *Minagri aplica sensores remotos para medir calidad de suelos agrícolas*. Obtenido de Ministerio del Desarrollo Agrario y Riego: <https://www.inia.gob.pe/2018-nota-156/>
- PROCISUR. (2006). *Agricultura de Precisión*. Obtenido de Gisandbeers: <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Agricultura-Moderna-Precision.pdf>
- SENASA. (2021). *Productores del valle del Mantaro consolidan agroexportación de maíz Amiláceo a Ecuador*. Obtenido de SENASA: <http://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/productores-del-valle-del-mantaro-consolidan-agroexportacion-de-maiz-amilaceo-a-ecuador/>
- Torres Moya, W., Malevé, K., & Marquis, D. (2012). *Aplicación de las Redes Inalámbricas de Sensores para implementar la agricultura de precisión en Viñedos*. Obtenido de Researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/265377410\\_Aplicacion\\_de\\_las\\_Redes\\_Inalambricas\\_de\\_Sensores\\_para\\_implementar\\_la\\_Agricultura\\_de\\_Precision\\_en\\_Vinedos](https://www.researchgate.net/publication/265377410_Aplicacion_de_las_Redes_Inalambricas_de_Sensores_para_implementar_la_Agricultura_de_Precision_en_Vinedos)
- UDLAP. (2003). *Capítulo 4 - Estándar IEEE 802.15.4*. Obtenido de UDLAP: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/archundia\\_p\\_fm/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo4.pdf)
- Vela, A. (2016). *Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el Monitoreo de Humedad y Temperatura en Cultivos – Caso de Estudio Hacienda Cabalinus Ubicada en la Provincia de Los Ríos*. Obtenido de Repositorio PUCE: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11112/Art%20adculo%20cient%20adfico%20Andr%20a9s%20Vela-Revista%20EPN.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Vladimir Abelardo, A. A. (s.f.). *Diseño e Implementación de un sistema de Monitorización de la calidad Ambiental de Línea Base de la Cuenca del río Coata Puno. (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3684/Aroapaza\\_Asqui\\_Vladimir\\_Abelardo\\_Salazar\\_Tapia\\_Paul\\_Yury.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3684/Aroapaza_Asqui_Vladimir_Abelardo_Salazar_Tapia_Paul_Yury.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Zegarra Chávez, K. R. (2020). *Diseño de una red inalámbrica de sensado remoto con aplicación en un escenario de selva baja. (Tesis de Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18634/ZEGARRA\\_CH%2081VEZ\\_KEVIN\\_DISE%2091O\\_RED\\_INAL%2081MBRICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18634/ZEGARRA_CH%2081VEZ_KEVIN_DISE%2091O_RED_INAL%2081MBRICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



**ANEXO B. ARQUITECTURA INTERNA DEL PIC 18F4550.**



Fuente. [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

### ANEXO C. TARJETA ENTRENADORA PIC18F4550.

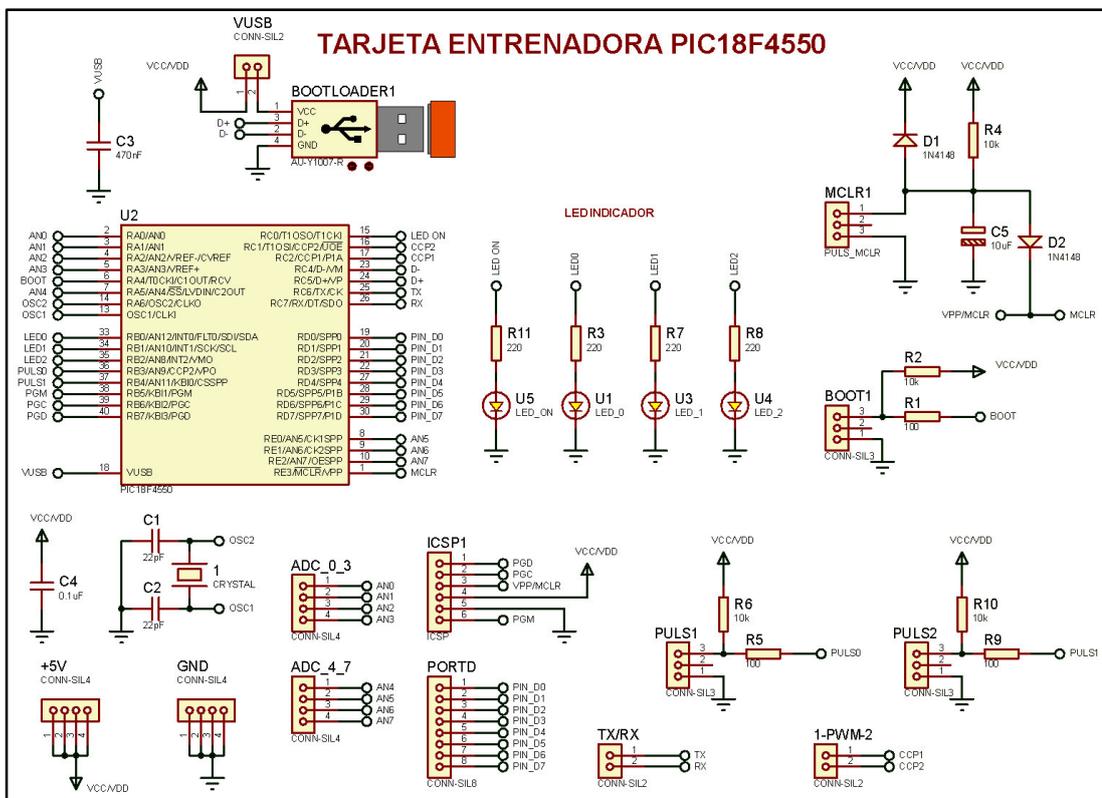


Figura 89. Esquema Electrónico de la Tarjeta Entrenadora PIC18F4550. Fuente. Elaboración propia

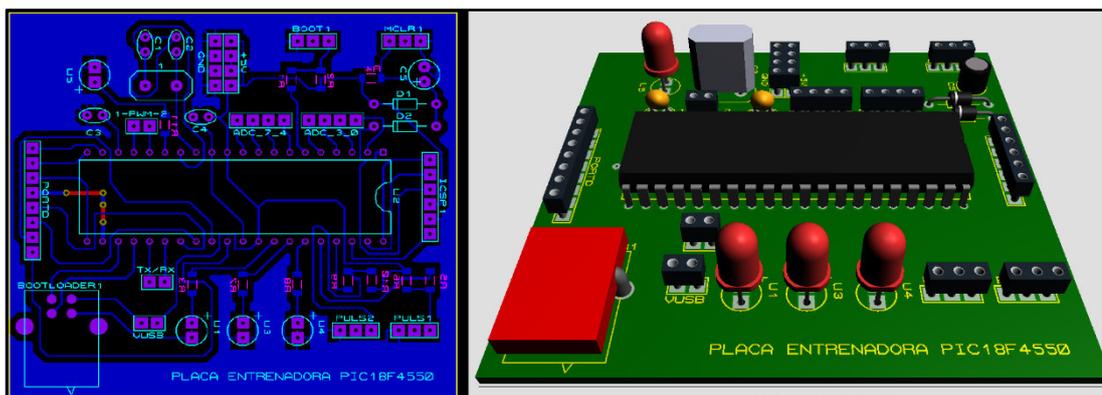


Figura 90. Diseño PCB de la Tarjeta Entrenadora PIC18F4550. Fuente. Elaboración propia

## ANEXO D. CÁLCULOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para nuestro dimensionado de un Sistema Fotovoltaico tendremos en cuenta la estimación del consumo de energía, el dimensionado del panel solar, el dimensionado de la batería y el dimensionado del regulador de carga tanto para los módulos Ruteadores y la estación de Monitoreo.

### A. Estimación de consumo de energía

Para el sistema modular Ruteadores se toma en cuenta las siguientes cargas DC de acuerdo al Cuadro 9:

**Cuadro 9. Estimación de consumo de energía de Ruteadores.**

Unidades	Carga (DC)	Potencia Unitaria (Watt)	Horas de Funcionamiento al Día (Horas)	Total Energía (Wh)	Total Energía (Wh) x 20% Margen de Seguridad
01	Arduino UNO	230mW	24 horas	5.50 Wh	6.60 Wh
01	Módulo XBee S2C	150mW	24 horas	3.60 Wh	4.32 Wh
01	LCD Display 16x2	500mW	0.25 horas	1.25 Wh	1.50 Wh
01	C.I y Sensores	100mW	24 horas	1.24 Wh	1.48 Wh
				11.59 Wh/Día	13.90 Wh/Día

*Fuente. Elaboración propia*

Con los datos obtenemos el consumo medio diario de la instalación al que se le ha aplicado un 20% como margen de seguridad recomendado. Debemos también tener en cuenta que en la instalación habrá pérdidas por rendimiento de la batería y esto influye en la energía necesaria final. Para fines de cálculo de dimensionamiento, tomaremos un rendimiento de la batería de un 95% y de los conductores un 100%.

Cálculo de los Consumos medios diarios ( $L_{md}$ ) consideramos la siguiente expresión.

$$L_{md} = \frac{L_{md.DC} + \frac{L_{md.AC}}{n_{inv}}}{n_{bat} * n_{con}}$$

Siendo ( $L_{md}$ ) el consumo medio de energía diario, ( $L_{md.DC}$ ) el consumo medio de energía diario de las cargas en continua y ( $L_{md.AC}$ ) el de las cargas en alterna (En nuestro diseño no cuenta con cargas alternas  $L_{md.AC}=0$  para los sistemas modulares Ruteadores).

$$L_{md} = \frac{L_{md.DC} + \frac{L_{md.AC}}{n_{inv}}}{n_{bat} * n_{con}} = \frac{13.90 + \frac{0}{0.90}}{0.95 * 1} = 14.63 \text{ Wh/día}$$

Cálculo del consumo de energía medio en Ah/día para los sistemas modulares Ruteadores:

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{BAT}} = \frac{14.63}{5} = 2.926 \text{ Ah/día}$$

Para Estación de Monitoreo se toma en cuenta la carga AC de acuerdo al Cuadro 10:

**Cuadro 10. Estimación de consumo de energía Estación de Monitoreo.**

Unidades	Carga (AC)	Potencia Unitaria (Watt)	Horas de Funcionamiento al Día (Horas)	Total Energía (Wh)	Total Energía (Wh) x 20% Margen de Seguridad
01	Cargador LAPTOP	65 W	12 horas	780 Wh	936 Wh
				780 Wh/Día	936 Wh/Día

*Fuente. Elaboración propia*

El consumo medio de energía diario para la Estación de Monitoreo se calcula de la siguiente forma:

$$L_{md} = \frac{L_{md.DC} + \frac{L_{md.AC}}{n_{inv}}}{n_{bat} * n_{con}} = \frac{0 + \frac{936}{0.90}}{0.95 * 1} = 1094.73 \text{ Wh/día}$$

Cálculo del consumo de energía medio en Ah/día para la Estación de Monitoreo:

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{BAT}} = \frac{1094.74}{12} = 91.23 \text{ Ah/día}$$

Se determina que el consumo medio diario real es ligeramente superior al nominal, pues como se mencionaba, hemos tomado en cuenta las pérdidas que se pueden producir en algunos de los elementos de la instalación y el margen de seguridad del 20%.

Calculó del consumo total anual (LT) y medio anual ( $L_{ma}$ ) para los sistemas modulares Ruteadores:

$$LT = L_{md} * 365 \text{ días} = 5339.95 \text{ Wh/año}$$

$$L_{ma} = LT/365 = 14.63 \text{ Wh/día}$$

Calculó del consumo total anual (LT) y medio anual ( $L_{ma}$ ) para la Estación de Monitoreo:

$$LT = L_{md} * 365 \text{ días} = 399576.45 \text{ Wh/año}$$

$$L_{ma} = LT/365 = 1094.73 \text{ Wh/día}$$

En este caso el consumo medio anual ( $L_{ma}$ ) coincide con el Consumos medios diarios ( $L_{md}$ ), puesto que el consumo que se ha estimado es constante en todo el año.

Considerando la ubicación del Distrito de Huayucachi con las coordenadas Latitud -12.126512 y Longitud -75.225464, obtenemos la radiación solar por cada mes de acuerdo al software de gestión de energías limpias "RETScreen" desarrollado por el Gobierno de Canadá en colaboración

con Centro de Investigación de Langley de la Nasa las cual recopila datos científicos de la Tierra. (ver Figura 91)



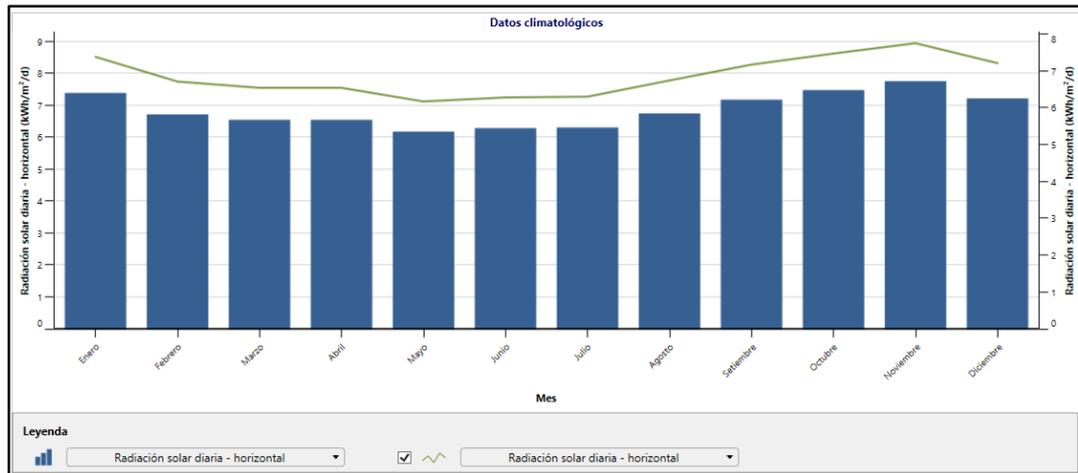
**Figura 91. Ubicación del área de estudio en RETScreen.**  
Fuente. RETScreen (2019)

Como se aprecia en la Figura 92, la radiación solar mínima se presenta en el mes de mayo con 6.17 KWh/m<sup>2</sup> y la máxima en el mes de noviembre con 7.75 KWh/m<sup>2</sup>.

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción 18 °C	Grados-días de refrigeración 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	12.5	73.0%	48.98	7.38	63.1	2.5	10.4	171	78
Febrero	12.5	78.0%	54.04	6.71	63.1	2.6	10.1	154	70
Marzo	12.0	77.0%	48.05	6.54	63.1	2.5	9.8	186	62
Abril	12.0	72.0%	13.50	6.54	63.2	2.5	9.6	180	60
Mayo	11.0	65.0%	5.27	6.17	63.2	2.4	9.2	217	31
Junio	9.5	57.0%	3.60	6.28	63.2	2.5	8.3	255	0
Julio	9.5	56.0%	4.03	6.30	63.2	2.6	8.1	264	0
Agosto	11.0	55.0%	4.96	6.74	63.2	3.0	9.2	217	31
Setiembre	12.5	61.0%	9.60	7.17	63.2	2.9	10.4	165	75
Octubre	13.0	64.0%	22.63	7.47	63.1	2.8	10.8	155	93
Noviembre	13.0	62.0%	25.20	7.75	63.1	2.6	11.0	150	90
Diciembre	12.5	68.0%	40.92	7.21	63.1	2.5	10.7	171	78
<b>Anual</b>	<b>11.7</b>	<b>65.6%</b>	<b>280.78</b>	<b>6.86</b>	<b>63.1</b>	<b>2.6</b>	<b>9.8</b>	<b>2,284</b>	<b>667</b>
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	Suelo	NASA	NASA	NASA	Suelo	Suelo
Medido a						m	10	0	

**Figura 92. Tabla de radiaciones solares.**  
Fuente. RETScreen (2019)

En el distrito de Huayucachi la radiación solar promedio anual es de 6.86 KWh/m<sup>2</sup> siendo este un valor casi constante durante todos los meses del año como se visualiza en la figura 93.



**Figura 93. Radiación solar.**  
Fuente. Elaboración propia

## B. Dimensionado del Panel Solar

Cálculo del número total de Paneles Solares necesarios:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR}$$

Donde:

- ( $L_{mdcrit}$ ) Es el consumo medio diario mensual para el mes crítico (en este caso, es siempre el mismo [14.63 Wh/día] para los módulos Ruteadores y para la [5927 Wh/día] Estación de Monitoreo, puesto que el consumo diario es constante todo el año)
- ( $P_{MPP}$ ) La potencia pico del módulo en condiciones estándar, estamos utilizando un panel monocristalino de alta eficiencia de 7 Watts de potencia pico para los módulos Ruteadores y 150 Watts para la Estación de Monitoreo.
- ( $HPS_{crit}$ ) Son las horas de sol pico del mes crítico calculado a partir de la "Tabla de Radiaciones", es decir: Irradiación del mes crítico (mayo) = 6.17 HPS
- (PR) el factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90. Usaremos 0.90 por defecto.

Cálculo de la cantidad total de paneles fotovoltaicos para los módulos Ruteadores:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR} = \frac{14.63}{7 * 6.17 * 0.90} = 0.376 \approx 1$$

Cálculo de la cantidad de paneles fotovoltaicos en serie y paralelo para los módulos Ruteadores (Considerando el voltaje máximo del panel  $V_{max} = 7.20 \text{ volt}$  ).

$$N_{SERIE} = \frac{V_{BAT}}{V_{max}} = \frac{5}{7.20} = 0.694 \approx 1$$

$$N_{PARALELO} = \frac{N_T}{N_{SERIE}} = 1$$

Cálculo de la cantidad total de paneles fotovoltaicos para la Estación de Monitoreo:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR} = \frac{1094.73}{150 * 6.17 * 0.90} = 1.314 \approx 1$$

Cálculo de la cantidad de paneles fotovoltaicos en serie y paralelo para los módulos Ruteadores (Considerando el voltaje máximo del panel  $V_{max} = 18.90 \text{ volt}$  ).

$$N_{SERIE} = \frac{V_{BAT}}{V_{max}} = \frac{12}{18.90} = 0.635 \approx 1$$

$$N_{PARALELO} = \frac{N_T}{N_{SERIE}} = 1$$

Considerando las fórmulas anteriores para cubrir la energía requerida de 14.63 Wh/día para los módulos Ruteadores se necesita un panel fotovoltaico de 7W de 6 voltios y para La Estación de Monitoreo donde se

requiere cubrir la energía de 1094.73 Wh/día un panel fotovoltaico monocristalino de alta eficiencia de 150W de 12 voltios.

En los sistemas modulares Ruteadores se elige el Panel Fotovoltaico modelo S-65 como se observa en la Figura 94.



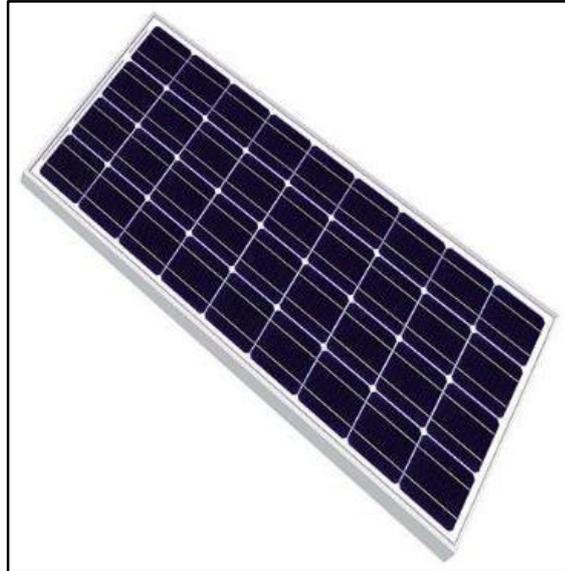
**Figura 94. Panel Fotovoltaico S-65.**

*Fuente. Elaboración propia*

Características:

- 7Wp de potencia
- 6v de tensión nominal
- Voltaje máximo 7.2V
- Intensidad de corriente: 1100mA
- Dimensiones de 155x250x18 milímetros
- Material de Polysilicon

Para nuestro diseño en la Estación de Monitoreo se elige el Panel Fotovoltaico Modelo TS150M como se observa en la Figura 95.



**Figura 95. Panel Fotovoltaico TS150M.**  
*Fuente. Elaboración propia*

Características:

- 150Wp de potencia
- 12v de tensión nominal
- Tolerancia:  $\pm 3\%$
- Tensión a pleno rendimiento: 18,99v
- Intensidad a pleno rendimiento: 7,90A
- Tensión en circuito abierto: 22,42v
- Intensidad de cortocircuito: 8,45A
- N° de celdas: 36 (4x9)
- Tamaño de célula: 156x156
- Tipo de célula: Mono-cristalina
- Peso: 12Kg
- Dimensiones de 1485x668x35 milímetros

### C. Dimensionado de la Batería

Para nuestro dimensionado se considera la capacidad nominal de la batería en función a la descarga máxima estacional ( $C_{ne}$ ).

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax.e} * F_{CT}}$$

Donde:

- ( $P_{Dmax.e}$ ) Profundidad de Descarga Máxima Estacional de 70 %.
- (N) Números de días de Autonomía.
- ( $L_{md}$ ) El consumo medio de energía diario.
- ( $F_{CT}$ ) Factor de Corrección de Temperatura.

Para los sistemas modulares Ruteadores:

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax.e} * F_{CT}} = \frac{14.63 * 0.6}{0.7 * 1} = 12.54 Wh$$

Expresando Capacidad nominal en Ah:

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{V_{BAT}} = \frac{10.45}{5} = 2.508 Ah \approx 2.5 Ah = 2500 mAh$$

Para la estación de Monitoreo:

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax.e} * F_{CT}} = \frac{1094.73 * 0.6}{0.7 * 1} = 938.34 Wh$$

Expresando Capacidad nominal en Ah:

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{V_{BAT}} = \frac{938.34}{12} = 78.195 Ah \approx 100 Ah$$

Para la elección de nuestro acumulador de energía de los módulos Ruteadores consideraremos un valor de comercial de la capacidad de la batería de 2500mAh, se elige ese valor menor próximo ya que se considera márgenes de sobre dimensionamiento en todos los cálculos. (ver Figura 96)



**Figura 96. Batería de 2500mAh.**

Fuente. *Elaboración propia*

La estación de Monitoreo tiene un acumulador de energía consideraremos un valor de comercial de la capacidad de la batería de 100 Ah. Para nuestro diseño se elige la Batería RITAR modelo RA12-100, el cual soporta descargas profundas. (ver Figura 97)



**Figura 97. Batería RITAR RA12-100.**

Fuente. [www.bateriasritarpower.com](http://www.bateriasritarpower.com)

### D. Dimensionado del regulador

Se calcula la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada y a su salida.

Corriente de Entrada:

$$I_{entrada} = 1.25 * I_{MOD.CC} * N_P$$

Donde:

- ( $I_{MOD.CC}$ ) Es la corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito la cual se tendrá en cuenta para evitar pérdidas en el rendimiento es de 8.45 Amperios.
- ( $N_P$ ) Numero paneles fotovoltaicos en paralelo.
- (1.25) Es el factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador.

$$I_{entrada} = 1.25 * I_{MOD.CC} * N_P = 1.25 * 8.45 * 1 = 10.56 A$$

Corriente de Salida:

$$I_{salida} = \frac{1.25 * P_{DC}}{V_{BAT}}$$

Donde:

- ( $P_{DC}$ ) Potencia de cargas continuas.
- ( $V_{BAT}$ ) Voltaje de Batería.

$$I_{salida} = \frac{1.25 * P_{DC}}{V_{BAT}} = \frac{1.25 * 46}{12} = 4.79 A$$

El regulador debe soportar una corriente, como mínimo 10.56 Amperios a su entrada y a su salida 4.79 Amperios.

Para nuestro diseño usamos el valor comercial de 20 Amperios y 12V, se elige el Controlador PWM, Cargador regulador solar modelo CMTD 2420. (Ver Figura 98)



**Figura 98. Regulador Cargador Solar CMTD 2420.**  
Fuente. [www.ueiua.com](http://www.ueiua.com)

Este Regulador Cargador Solar de tipo PWM puede aumentar la eficiencia en un 10% - 30%.

## ANEXO C. DATASHEET BATERIA RITAR.



# RA12-100 (12V100Ah)



RA series is a general purpose battery with 10 years design life in float service. It meets with IEC, JIS and BS standards. With up-dated AGM valve regulated technology and high purity raw materials, the RA series battery maintains high consistency for better performance and reliable standby service life. It is suitable for UPS/EPS, medical equipment, emergency light and security system applications.

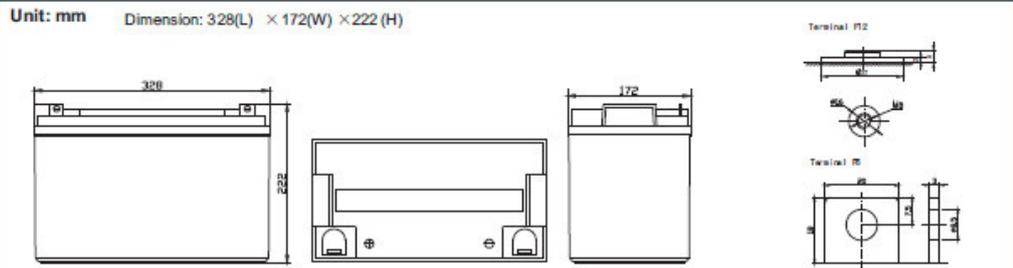
### Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	100Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx.30.0 Kg( Tolerance ± 2%)
Max. Discharge Current	1000A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 5m Ω
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C ~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C ± 5°C
Float charging Voltage	13.6 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	30 A
Equalization and Cycle Service	14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge rate is less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Terminal F5/F12
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.

 MH28539  
 GMD2096-0910-E-16  
  
 THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK  
**CERTIFICATE**  
 NUMBER: 02101  
 ISO 14001:2004 Standard  
  
 THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK  
**CERTIFICATE**  
 NUMBER: 41121  
 ISO 9001:2008 Standard

### Dimensions

Unit: mm      Dimension: 328(L) × 172(W) × 222 (H)



#### Constant Current Discharge Characteristics: A (25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	320.7	226.9	181.4	112.7	65.00	38.89	26.88	22.03	18.03	12.42	10.50	5.78
10.0V	311.4	215.8	177.7	110.8	64.70	38.60	26.78	21.93	17.93	12.32	10.40	5.67
10.2V	302.2	208.2	174.9	109.8	64.10	38.31	26.57	21.83	17.82	12.22	10.30	5.57
10.5V	271.3	192.1	166.5	107.1	63.50	38.02	26.47	21.62	17.61	12.12	10.20	5.46
10.8V	244.9	175.2	153.5	102.4	62.00	37.33	25.75	21.11	17.29	11.92	10.10	5.36
11.1V	209.1	156.6	137.7	95.91	58.90	35.68	24.62	20.09	16.55	11.41	9.80	5.04

#### Constant Power Discharge Characteristics: W(25°C)

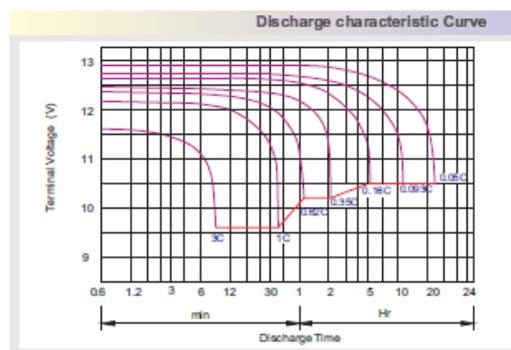
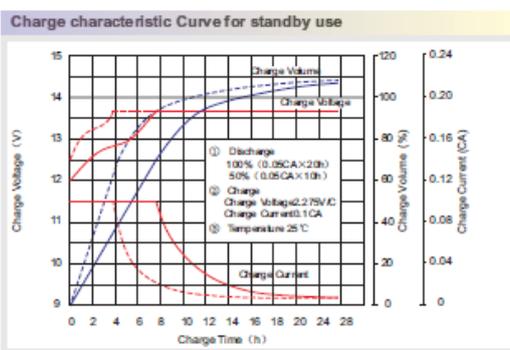
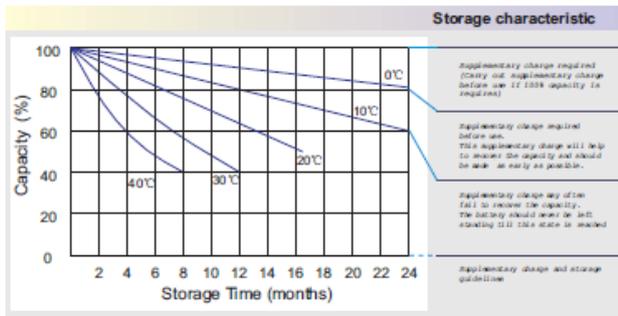
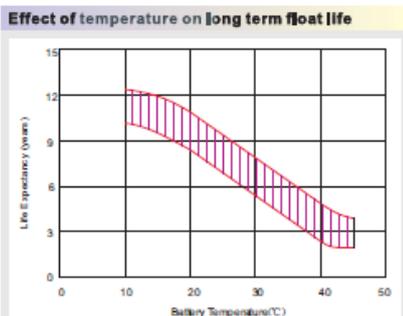
F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	3317	2416	1996	1284	751.1	458.4	319.9	262.6	215.1	148.3	125.5	69.26
10.0V	3251	2342	1964	1269	749.3	456.0	320.0	262.3	214.6	147.6	124.7	68.06
10.2V	3214	2280	1941	1260	743.5	453.3	318.6	261.7	213.9	146.6	123.6	66.80
10.5V	2926	2123	1852	1230	736.8	450.0	317.4	259.3	211.3	145.4	122.4	65.54
10.8V	2665	1957	1712	1179	723.2	444.2	308.7	253.4	207.5	143.0	121.2	64.28
11.1V	2341	1770	1541	1108	692.3	427.7	295.4	241.1	198.6	136.9	117.6	60.50

All mentioned values are average values (Tolerance ±2%).

Fuente: [www.bateriasritarpower.com](http://www.bateriasritarpower.com)

# RA12-100

12V100Ah



## Capacity Factors With Different Temperature

Battery Type		-20°C	-10°C	0°C	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	45°C
GEL Battery	6V&12V	50%	70%	83%	85%	90%	98%	100%	102%	104%	105%
	2V	60%	75%	85%	88%	92%	99%	100%	103%	105%	106%
AGM Battery	6V&12V	46%	66%	76%	83%	90%	98%	100%	103%	107%	109%
	2V	55%	70%	80%	85%	92%	99%	100%	104%	108%	110%

### Discharge Current VS. Discharge Voltage

Final Discharge Voltage V/cell	1.75V	1.70V	1.60V
Discharge Current (A)	(A) ≤ 0.2C	0.2C < (A) < 1.0C	(A) ≥ 1.0C

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

Charging Method:

Constant Voltage	-0.2Cx2h+14.4-14.7Vs2-4h, Max. Current 0.3C
Constant Current	-0.2Cx2h+0.1Cx12h
Float	-0.2Cx2h+0.3Cx4h

Bolt	M5	M6	M8
Terminal	F3 F4 F13 F16 T25 T26	F8 F11 F12-1 F15	F5 F9 F10 F12 F14 F16
Torque	8-10N·m	8-10N·m	10-12N·m

### Maintenance & Cautions

<b>Float Service:</b>
※ Every month, recommend inspection every battery voltage.
※ Every three months, recommend equalization charge for one time.
<b>Equalization charge method:</b>
Discharge: 100% rate capacity discharge.
Charge: Max. current 0.3CA, constant voltage 14.4-14.7V charge 24h.
※ Effect of temperature on float charge voltage: -3mV/C/Cell.
※ Length of service life will be directly affected by the number of discharge cycles, depth of discharge, ambient temperature and charging voltage.

SHENZHEN RITAR POWER CO.,LTD.

Address: Rm405, Tower C, Huahan Building, Langshan Rd16, Nanshan District, ShenZhen, 518057, China

Fuente. [www.bateriasritarpower.com](http://www.bateriasritarpower.com)

## ANEXO D. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FAMILIA XBEE

Digi XBee® Family Features Comparison										
Family	Frequency	Protocol	Description	RF Line of Sight Range	Form Factor	Development Kit Part Numbers	RF Data Rate	Current Draw Tx/Rx	Hardware Reference # / Chipset(s)	Certified Regions
Digi XBee® Wi-Fi	2.4 GHz	IEEE 802.11	Wi-Fi 802.11b/g/n with easy provisioning and point-to-multipoint device connectivity	N/A	Through-Hole	XXA2B-WFT-0	1 to 72 Mbps	309 mA / 100 mA	S6B SiLabs EFM32LG230 ARM M3 MCU, Atheros AR4100 Transceiver	US, CA, EU, AU, JP
Digi XBee® DigiMesh® 2.4		DigiMesh®	DigiMesh networking, low-cost, low-power	4000 ft (1200 m)		XX-WDM	33mA / 28mA	250 Kbps	S2C SiLabs EM357 SoC	US, CA, EU, AUS / NZ, BR, JP
Digi XBee-PRO DigiMesh® 2.4			Extended-range DigiMesh	2 miles (3200 m)	Surface Mount	XXB2-A2T-WWC	120 mA / 31 mA			US, CA, AU, NZ, BR
Digi XBee® 802.15.4		Proprietary 802.15.4	low cost, low power point-to-multipoint device connectivity	4000 ft (1.2 km)		XXB2-ZTT-WZM	33mA / 28mA			US, CA, EU, AUS / NZ, BR, JP
Digi XBee-PRO® 802.15.4			Point to multipoint extended range version	2 miles (3.2 km)	XXA2C-ZTT-U	120mA / 31 mA	US, CA, AU, NZ, BR			
Digi XBee® ZigBee		ZigBee® Pro	ZigBee mesh networking, low-cost, low-power	4000 ft / 1.2 km	Surface Mount	XXB2-ZTT-WZM	33mA / 28mA			US, CA, EU, AUS / NZ, BR, JP
Digi XBee-PRO® ZigBee			Extended-range ZigBee	2 miles / 3.2 km		XXA2C-ZTT-U	120 mA / 31 mA			US, CA, AU, NZ, BR
Digi XBee® ZigBee - Thread Ready		ZigBee® Pro Thread	ZigBee protocol (upgradable to Thread protocol) low cost, low power	4000 ft (1.2km)	XXB2-ZTT-WTZM	33mA / 28mA	S2D SiLabs EM358T SoC	US, CA, EU		
Digi XBee-PRO® 900HP	900 MHz	Multipoint	Extended-range peer-to-peer mesh, sleeping routers	9 miles / 14.5 km	Through-Hole	XXB9-DMT-UHP (US/CA) XXB9-DMT-AHP (AU) XXB9-DMT-BHP (BR) XXB9-DMT-SHP (SGP)	10 Kbps or 200 Kbps	315 mA / 29 mA	S3B SiLabs EFM32G230F128 ARM M3 MCU, Analog Devices ADF7023 Transceiver	US, CA, AU, BR
Digi XBee® SX		DigiMesh®	20mW networking XBee module for mission critical applications	9 miles / 14 km	Surface Mount	XXSX-DMS-0	250 Kbps	55 mA / 40 mA	S10 SiLabs EFM32LG230F256G ARM M3 MCU, Analog Devices ADF7023 Transceiver, LNA/SAW (PR0 version: PA-LNA/SAW)	US, CA, AU, NZ (BR Pending)
Digi XBee-PRO® SX			1-Watt networking XBee module for mission critical applications	65 miles / 105 km		900 mA / 40 mA	US, CA, AU, (BR Pending)			
Digi XBee® SX 868	868 MHz	Multipoint DigiMesh®	Low-cost, low-power peer-to-peer mesh for Europe	9 miles / 14.5 km	Surface Mount	XXSX-DMS-0	Up to 80 Kbps	55 mA / 40 mA	S10 SiLabs EFM32LG230F256G ARM M3 MCU, Analog Devices ADF7023 Transceiver, LNA/SAW	EU

See reverse for Digi XBee Cellular DIGI

Digi XBee® Family Features Comparison - continued										
Family	Frequency	Carriers	Description	Network	Form Factor	Development Kit Part Numbers	RF Data Rate	Current Draw Tx/Rx	Hardware Reference # / Chipset(s)	Certified Regions
Digi XBee® Cellular LTE Cat 1	Bands 4 and 13	Verizon and AT&T	FCC and End-Device certified LTE Cat 1 for low-power cellular applications, MicroPython Programmable	LTE CAT1	Through-Hole	XXC-V1T-U	10 Mbps Down / 5 Mbps Up	860mA / 530mA	SiLabs EFM32G-G395F1024 ARM M3 MCU + Telit LE866	US and Canada
Digi XBee® Cellular LTE-M	Verizon Bands: 4 and 13 AT&T Bands: 2, 4, and 12		FCC and End-Device certified LTE-M for ultra-low-power cellular applications, MicroPython Programmable	LTE-M		N/A	384 kbps	TBD	SiLabs EFM G395F1024 ARM M3 MCU + ublox 404M/410M	US and Canada
Digi XBee® Cellular NB-IoT	Bands 8 and 20	Vodafone, Deutsche TK, Orange, and others that support these bands	CE/RED certified NB-IoT for ultra-low-power cellular applications, MicroPython Programmable	NB-IoT		N/A	<100kbps	TBD	SiLabs EFM G395F1024 ARM M3 MCU + ublox N111	Europe
Digi XBee® Cellular 3G Global	Band 19 (800 MHz) Band 5 (850 MHz) Band 8 (900 MHz) Band 2 (1900 MHz) Band 1 (2100 MHz)	AT&T, Vodafone, Rogers, & many others	FCC and PTCRB certified 3G GSM/HSPA modem for low-power cellular applications, MicroPython Programmable	HSPA/GSM 3G		XXC-MS-W	7.2 Mbps Down / 5.76 Mbps Up	860mA / 530 mA	SiLabs EFM G395F1024 ARM M3 MCU + ublox U701	Global

### Worldwide Deployment

- Digi offers frequencies from 2.4GHz (global) and sub-GHz solutions for regional ISM solutions, as well as 3GPP standards like LTE Cat 1, LTE-M, NB-IoT and 3G.
- Available with power management options from 10uA up to 1W for flexibility in range and power consumption
- Pre-certified for use in various regions of the world
- In one design footprint, XBee modules support multiple wireless protocols, RF frequencies, and cellular standards around the globe. This flexibility lowers manufacturing and engineering costs and offers OEMs ability to quickly expand their roadmap



### Multiple Protocols

Digi XBee modules leverage multiple types of wireless protocols which are suitable for many different network architectures. These protocols can be grouped in two categories: "point-to-multipoint" and "mesh networking" which are explained below:

#### Point-to-Multipoint Networking

Point-to-multipoint communication is accomplished by a one-to-one or one-to-many connection, providing multiple paths from a single location to multiple locations. Here are some of the protocols that fall under point-to-multipoint:

- 802.15.4**  
IEEE 802.15.4 is a standard which specifies the physical layer and media access control and is ideal for applications requiring low latency and predictable communication timing.
- 802.11 (Wi-Fi)**  
IEEE 802.11, or more commonly known as Wi-Fi, has a variety of sub-protocols represented by the suffix a/b/g/n/ac with varying degrees of bandwidth.
- Cellular**  
With the introduction of protocols such as LTE Cat 1, LTE-M, and NB-IoT, cellular data rates have come down to a point where it should be considered for certain low power applications.

#### Mesh Networking

Mesh networking is used where the range between two points may be beyond the range of the two radios located at those points, but intermediate radios are in place that could forward on any messages to and from the desired radios.

- ZigBee**  
ZigBee is an open, global wireless standard developed to address the needs of low-cost, low-power M2M networks.
- DigiMesh**  
DigiMesh is similar to ZigBee mesh networking, but unlike ZigBee, DigiMesh only has one node-type that can route data and are interchangeable. DigiMesh is a proprietary, low-power mesh networking protocol with a single node-type, and capable of scaling for larger networks.
- Thread**  
Thread is an open, global, IPv6 based, low power mesh networking protocol that is simple to setup and use.

Programmable versions are also available in several of these products.  
© Copyright 1996-2017 Digi International Inc. All rights reserved. 91001409 D3/1118



## ANEXO E. ESPECIFICACIONES XBEE PRO S2C

SPECIFICATIONS	Digi XBee® S2C DigiMesh® 2.4	DigiXBee-PRO® S2C DigiMesh® 2.4
<b>PERFORMANCE</b>		
TRANSCIVER CHIPSET	Silicon Labs EM357 SoC	Silicon Labs EM357 SoC
DATA RATE	RF 250 Kbps, Serial up to 1 Mbps	RF 250 Kbps, Serial up to 1 Mbps
INDOOR/URBAN RANGE*	Up to 200 ft (60 m)	Up to 300 ft (90 m)
OUTDOOR/RF LINE-OF-SIGHT RANGE*	Up to 4000 ft (1200 m)	Up to 2 miles (3200 m)
TRANSMIT POWER	3.1 mW (+5 dBm) / 6.3 mW (+8 dBm) boost mode	63 mW (+18 dBm)
RECEIVER SENSITIVITY (1% PER)	-100 dBm / -102 dBm boost mode	-101 dBm
<b>FEATURES</b>		
SERIAL DATA INTERFACE	UART, SPI	UART, SPI
CONFIGURATION METHOD	API or AT commands, local or over-the-air (OTA)	API or AT commands, local or over-the-air (OTA)
FREQUENCY BAND	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
FORM FACTOR	Through-Hole, Surface Mount	Through-Hole, Surface Mount
HARDWARE	S2C	S2C
ADC INPUTS	(4) 10-bit ADC Inputs	(4) 10-bit ADC Inputs
DIGITAL I/O	15	15
ANTENNA OPTIONS	Through-Hole: PCB Antenna, U.FL Connector, RPSMA Connector, or Integrated Wire; SMT: RF Pad, PCB Antenna, or U.FL Connector	
OPERATING TEMPERATURE	-40° C to +85° C	-40° C to +85° C
DIMENSIONS (L X W X H) AND WEIGHT	Through-Hole: 0.960 x 1.087 In (2.438 x 2.761 cm) SMT: 0.866 x 1.33 x 0.120 In (2.199 x 3.4 x 0.305 cm)	Through-Hole: 0.960 x 1.297 In (2.438 x 3.294 cm) SMT: 0.866 x 1.33 x 0.120 In (2.199 x 3.4 x 0.305 cm)
<b>NETWORKING AND SECURITY</b>		
PROTOCOL	Digi XBee DigiMesh 2.4 (Proprietary 802.15.4 based mesh protocol)	
UPDATABLE TO DIGI 802.15.4 PROTOCOL	Yes	Yes
UPDATABLE TO ZIGBEE PROTOCOL	Yes	Yes
INTERFERENCE IMMUNITY	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	
ENCRYPTION	128-bit AES	
RELIABLE PACKET DELIVERY	Retries/Acknowledgements	
IDS	PAN ID and addresses, cluster IDs and endpoints (optional)	
CHANNELS	16 channels	15 channels
<b>POWER REQUIREMENTS</b>		
SUPPLY VOLTAGE	2.1 to 3.6V	2.7 to 3.6V
TRANSMIT CURRENT	33 mA @ 3.3 VDC / 45 mA boost mode	120 mA @ 3.3 VDC
RECEIVE CURRENT	28 mA @ 3.3 VDC / 31 mA boost mode	31 mA @ 3.3 VDC
POWER-DOWN CURRENT	<1 µA @ 25° C	<1 µA @ 25° C
<b>REGULATORY APPROVALS</b>		
FCC, IC (NORTH AMERICA)	Yes	Yes
ETSI (EUROPE)	Yes	No
RCM (AUSTRALIA AND NEW ZEALAND)	Yes	Yes
TELEC (JAPAN)	Yes	No (Coming soon)
<small>*Range figure estimates are based on free-air terrain with limited sources of interference. Actual range will vary based on transmitting power, orientation of transmitter and receiver, height of transmitting antenna, height of receiving antenna, weather conditions, interference sources in the area, and terrain between receiver and transmitter, including indoor and outdoor structures such as walls, trees, buildings, hills, and mountains.</small>		
WWW.DIGI.COM		

Fuente. [www.digi.com](http://www.digi.com)

PART NUMBERS	DESCRIPTION
<b>SMT MODELS</b>	
XB24CDMPIS-001	Digi XBee, S2C DigiMesh 2.4, SMT, PCB antenna
XBP24CDMPIS-001	Digi XBee-PRO, S2C DigiMesh 2.4, SMT PCB antenna
XB24CDMUIS-001	Digi XBee, S2C DigiMesh 2.4, SMT, U.FL
XBP24CDMUIS-001	Digi XBee-PRO, S2C DigiMesh 2.4, SMT, U.FL
XB24CDMRIS-001	Digi XBee, S2C DigiMesh 2.4, SMT, RF Pad
XBP24CDMRIS-001	Digi XBee-PRO, S2C DigiMesh 2.4, SMT, RF Pad
<b>THROUGH-HOLE MODELS</b>	
XB24CDMPIT-001	Digi XBee, S2C DigiMesh 2.4, TH, PCB antenna
XBP24CDMPIT-001	Digi XBee-PRO, S2C DigiMesh 2.4, TH, PCB antenna
XB24CDMUIT-001	Digi XBee, S2C DigiMesh 2.4, TH, U.FL
XBP24CDMUIT-001	Digi XBee-PRO, S2C DigiMesh 2.4, TH, U.FL
XB24CDMSIT-001	Digi XBee, S2C DigiMesh 2.4, TH, RPSMA
XBP24CDMSIT-001	Digi XBee-PRO, S2C DigiMesh 2.4, TH, RPSMA
XB24CDMWIT-001	Digi XBee, S2C DigiMesh 2.4, TH, WIRE antenna
XBP24CDMWIT-001	Digi XBee-PRO, S2C DigiMesh 2.4, TH, WIRE antenna
<b>KIT</b>	
XX-WDM	Digi XBee S2C DigiMesh Development Kit with two XB24CDMPIT-001 modules and one XB24CDMPIS-001 module

Note: International users select the standard module. The PRO module is for use in North America only.

802.15.4 - Star

ZigBee - Open Standard Mesh

DigiMesh - Proprietary Mesh

(Side Views)

(Top View)

(Top View)

**DIGI SERVICE AND SUPPORT** / You can purchase with confidence knowing that Digi is always available to serve you with expert technical support and our industry leading warranty. For detailed information visit [www.digi.com/support](http://www.digi.com/support).

© 1996-2018 Digi International Inc. All rights reserved.  
All trademarks are the property of their respective owners.

91003482  
A4/518

**DIGI INTERNATIONAL WORLDWIDE HQ**  
877-912-3444 / 952-912-3444 / [www.digi.com](http://www.digi.com)

**DIGI INTERNATIONAL GERMANY**  
+49-89-540-428-0

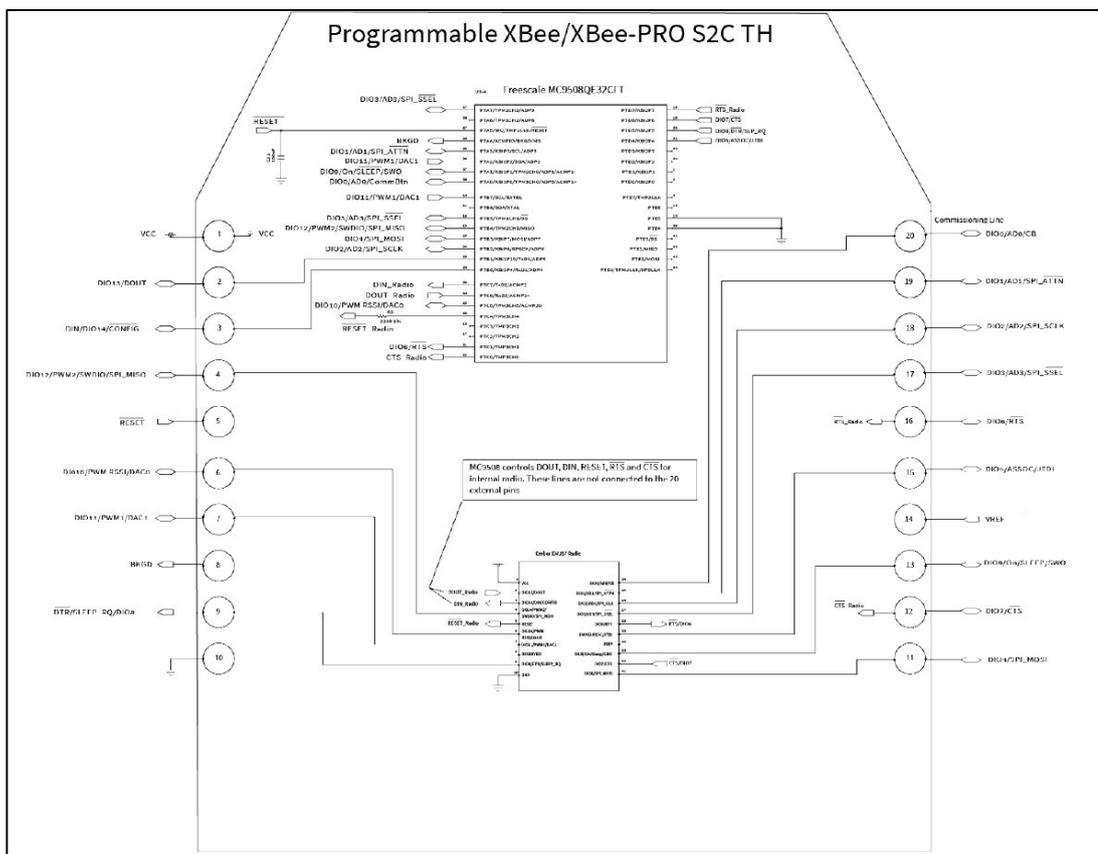
**DIGI INTERNATIONAL JAPAN**  
+81-3-5428-0261 / [www.digi-intl.co.jp](http://www.digi-intl.co.jp)

**DIGI INTERNATIONAL SINGAPORE**  
+65-6213-5380

**DIGI INTERNATIONAL CHINA**  
+86-21-50492199 / [www.digi.com.cn](http://www.digi.com.cn)

Fuente. [www.digi.com](http://www.digi.com)

## ANEXO F. AQUITECTURA INTERNA DEL XBEE PRO S2C



Fuente. [www.digi.com](http://www.digi.com)

## ANEXO G. ALGORITMO DEL MODULO COORDINADOR

```

#include <18F4550.h>
#DEVICE ADC=8
#fuses HSPLL,MCLR,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VREGEN,NOPBADEN

#use delay(clock=48000000)

//Archivo de cabecera necesario para trabajar con el Bootloader
#include "usb_bootloader.h"
//!#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7,parity=N,bits=8)
#use standard_io(c)

#define USB_HID_DEVICE FALSE //deshabilitamos el uso de las directivas HID
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_BULK //turn on EP1(EndPoint1) for IN bulk/interrupt transfers
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_BULK //turn on EP1(EndPoint1) for OUT bulk/interrupt transfers
#define USB_EP1_TX_SIZE 32 //size to allocate for the tx endpoint 1 buffer
#define USB_EP1_RX_SIZE 2 //size to allocate for the rx endpoint 1 buffer

#include <pic18_usb.h> //Microchip PIC18Fxx5x Hardware layer for CCS's PIC USB driver
#include <PicUSB.h> //Configuración del USB y los descriptores para este dispositivo
#include <usb.c> //handles usb setup tokens and get descriptor reports

//Asignacion de variables
#define LED_B PIN_C0
#define LED_ON output_high
#define LED_OFF output_low

#define DATO_RX recibe[0]

#define Temp_0 envia[0]
#define Temp_1 envia[1]
#define Temp_2 envia[2]
#define Temp_3 envia[3]
#define Temp_4 envia[4]
#define Temp_5 envia[5]
#define Temp_6 envia[6]
#define Temp_7 envia[7]
#define Temp_8 envia[8]
#define Temp_9 envia[9]
#define Temp_10 envia[10]
#define Temp_11 envia[11]
#define Temp_12 envia[12]
#define Temp_13 envia[13]
#define Temp_14 envia[14]
#define Temp_15 envia[15]
#define Temp_16 envia[16]
#define Temp_17 envia[17]
#define Temp_18 envia[18]
#define Temp_19 envia[19]
#define Temp_20 envia[20]

//declaramos variables globales
void temp (void);
void datos_RX (void);

int8 recibe[2];
int8 envia[32];

int1 USB_RX1;
int1 USB_RX2;
int1 USB_RX3;

int8 i,dato_rs232[8];
int8 cabecera;

int8 ADC01;

int8 MSB_TEMP_1=0,LSB_TEMP_1=0,MSB_HUMD_1=0,LSB_HUMD_1=0;
int8 MSB_TEMP_2=0,LSB_TEMP_2=0,MSB_HUMD_2=0,LSB_HUMD_2=0;
int8 MSB_TEMP_3=0,LSB_TEMP_3=0,MSB_HUMD_3=0,LSB_HUMD_3=0;
int8 TEMP__4=0, HUMD_4=0,MSB_UV_4=0,LSB_UV_4=0;

```

```

long b1,b2,b3,b4,b88,b8;
char b5,b6,b7;

int8 R04=0,R04_D=0,R03=0,R03_D=0,R02=0,R02_D=0,R01=0,R01_D=0;

int8 b9,b10,b11,b12;

float cuenta=0;

#INT_RDA
void RDA_isr(void)
{
    delay_us(10);
    cabecera=getc();
    if (cabecera == 0x7E) //byte de inicio
    {

        for (i=0; i<7; ++i)
        {
            dato_rs232[i] = getch(); // descarta todos los 8 bytes hasta llegar al de lectura de canal
        }
        i = 0;

        b1 = getch();
        b2 = getch();
        b3 = getch();
        b4 = getch();

        //////////////////////////////////////
        b5 = getch();
        b6 = getch();
        b7 = getch();

        b8 = getch(); //CABECERA

        b9 = getch(); //DATO1
        b10 = getch(); //DATO2
        b11 = getch(); //DATO3
        b12 = getch(); //DATO4

        b88=b1+b2+b3+b4;
    }
}

#INT_TIMER2
void TIMER2_isr(void)
{
    cuenta=cuenta+1;
    if(cuenta > 1000)
    {
        cuenta=0;
        output_toggle(PIN_B2);

        if(R04==0x16)
        {
            R04_D=0x16;
        }
        else
        {
            R04_D=0x0;
        }

        if(R03==0x16)
        {
            R03_D=0x16;
        }
        else
        {
            R03_D=0x0;
        }

        if(R02==0x16)
        {

```

```

    R02_D=0x16;
  }
  else
  {
    R02_D=0x0;
  }

  if(R01==0x16)
  {
    R01_D=0x16;
  }
  else
  {
    R01_D=0x0;
  }

  R04=0x0;
  R03=0x0;
  R02=0x0;
  R01=0x0;
}
}

void main(void)
{
  setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);
  setup_timer_1(T1_DISABLED);
  setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,253,15); //338 us overflow, 5.0 ms interrupt
  enable_interrupts(INT_TIMER2);

  enable_interrupts(INT_RDA);
  enable_interrupts(GLOBAL);

  LED_OFF(LED_B); //Led INDICADOR

  usb_init(); //inicializamos el USB
  usb_task(); //habilita periferico usb e interrupciones
  usb_wait_for_enumeration(); //esperamos hasta que el PicUSB sea configurado por el host

  setup_port_a( ALL_ANALOG ); //habilitamos el puerto a para entrada analogica
  setup_adc_ports(AN0_TO_AN2);
  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Utilizamos el reloj interno

  LED_ON(LED_B); //Led INDICADOR

  while (TRUE)
  {

    temp();

    if(usb_enumerated()) //Si el PicUSB está configurado
    {

      if (usb_kbhit(1)) //Si el endpoint de salida contiene datos del host
      {
        usb_get_packet(1, recibe, 1); //LEEMOS el paquete de tamaño 1 bytes del EP1 y almacenamos en recibe
        datos_RX();
        usb_put_packet(1,envia,32,USB_DTS_TOGGLE); //enviamos el paquete de tamaño 5 bytes
      }
    }
  }
}

void temp (void)
{
  //ROUTER 01
  if (b88 == 0x7F) // 0013A200 41 06 08 30
  {
    if (b8 == 0x16) //cabecera
    {
      R01=0x16;
      MSB_TEMP_1 = b9; //TEMPERATURA ROUTER 01
      LSB_TEMP_1 = b10; //HUMEDAD ROUTER 01
      MSB_HUMD_1 = b11; //TEMPERATURA ROUTER 01
      LSB_HUMD_1 = b12; //HUMEDAD ROUTER 01
    }
  }
}

```

```

}
}
//ROUTER 02
if (b88 == 0x10C) // 0013A200 41 8E 21 1C
{
  if (b8 == 0x16) //cabecera
  {
    R02=0x16;
    MSB_TEMP_2 = b9; //TEMPERATURA ROUTER 02
    LSB_TEMP_2 = b10; //HUMEDAD ROUTER 02
    MSB_HUMD_2 = b11; //TEMPERATURA ROUTER 02
    LSB_HUMD_2 = b12; //HUMEDAD ROUTER 02
  }
}
//ROUTER 03
if (b88 == 0x89) // 0013A200 41 06 08 3A
{
  if (b8 == 0x16) //cabecera
  {
    R03=0x16;
    MSB_TEMP_3 = b9; //TEMPERATURA ROUTER 03
    LSB_TEMP_3 = b10; //HUMEDAD ROUTER 03
    MSB_HUMD_3 = b11; //TEMPERATURA ROUTER 03
    LSB_HUMD_3 = b12; //HUMEDAD ROUTER 03
  }
}
//ROUTER 04
if (b88 == 0x204) // 0013A200 41 06 08 46 SUMA 0x95// ROUTER Libre 0013A200 40 98 9D 8F SUMA 0x204
{
  if (b8 == 0x16) //cabecera
  {
    R04=0x16;
    TEMP_4 = b9; //TEMPERATURA ROUTER 03
    HUMD_4 = b10; //HUMEDAD ROUTER 03
    MSB_UV_4 = b11; //TEMPERATURA ROUTER 03
    LSB_UV_4 = b12; //HUMEDAD ROUTER 03
  }
}

b88 = 0x0;
SET_ADC_CHANNEL(0);
ADC01=READ_ADC();
delay_us(20);

Temp_0 = MSB_TEMP_1;
Temp_1 = LSB_TEMP_1;
Temp_2 = MSB_HUMD_1;
Temp_3 = LSB_HUMD_1;
Temp_4 = MSB_TEMP_2;
Temp_5 = LSB_TEMP_2;
Temp_6 = MSB_HUMD_2;
Temp_7 = LSB_HUMD_2;
Temp_8 = MSB_TEMP_3;
Temp_9 = LSB_TEMP_3;
Temp_10 = MSB_HUMD_3;
Temp_11 = LSB_HUMD_3;
Temp_12 = TEMP_4;
Temp_13 = HUMD_4;
Temp_14 = MSB_UV_4;
Temp_15 = LSB_UV_4;

Temp_16 = ADC01; //TEST
Temp_17 = R04_D;
Temp_18 = R03_D;
Temp_19 = R02_D;
Temp_20 = R01_D;
}

void datos_RX (void)
{
  USB_RX1=bit_test(DATO_RX,0);
  if (USB_RX1==1)
  {
    output_high(PIN_B0);
  }
}

```

```
else
{
output_low(PIN_B0);
}

USB_RX2=bit_test(DATO_RX,1);
if (USB_RX2==1)
{
output_high(PIN_B1);
}
else
{
output_low(PIN_B1);
}

USB_RX3=bit_test(DATO_RX,2);
if (USB_RX3==1)
{
// output_high(PIN_B2);
}
else
{
// output_low(PIN_B2);
}
}
```

*Fuente. Elaboración propia.*

## ANEXO H. ALGORITMO DEL MODULO ROUTER 1-2-3

```

//XBEE ROUTER 1-2-3 - ARDUINO UNO

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

OneWire ourWire(2);          //Se establece el pin 2 como bus OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
//Crear el objeto lcd dirección 0x3F y 16 columnas x 2 filas
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2); //

////////////////////////////////////

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial XBee(0,1); // RX, TX

////////////////////////////////////
volatile unsigned int cuenta = 0;

int cabecera = 0;
int sensorValue1 = 0;
int sensorValue2 = 0;
int sensorValue3 = 0;
int sensorValue4 = 0;

float temp;
float humedad;
float dato_humedad;

int MSB_TEMP;
int LSB_TEMP;
int MSB_HUMEDAD;
int LSB_HUMEDAD;

int sensorPin = A0;

////////////////////////////////////

void setup()

{

// PREPARAR LA COMUNICACION SERIAL
// Serial.begin(9600);
XBee.begin(9600);////////////////////////////////////
sensors.begin(); //Se inicia el sensor

////////////////////////////////////

SREG = (SREG & 0b01111111); //Desabilitar interrupciones
TIMSK2 = TIMSK2|0b00000001; //Habilita la interrupcion por desbordamiento
TCCR2B = 0b00000111; //Configura preescala para que FT2 sea de 7812.5Hz
SREG = (SREG & 0b01111111) | 0b10000000; //Habilitar interrupciones //Desabilitar interrupciones

////////////////////////////////////

// Inicializar el LCD
lcd.init();

//Encender la luz de fondo.
lcd.backlight();

// Escribimos el Mensaje en el LCD.
lcd.print("XBEE ROUTER");

delay(1200);
//LIMPIA PANTALLA
lcd.clear();

```

```

}

void loop()
{

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SEN-HUS:");
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print(humedad);
  lcd.setCursor(14, 0);
  lcd.print("V");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Temp:");
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print(temp);
  lcd.setCursor(12, 1);
  lcd.print("C");
  delay(250);

}

void TX_XBEE_ROUTER(char value0,char value1,char value2, char value3, char value4)
{

  XBee.write(0x7E); //byte de inicio
  XBee.write((byte)0x0); //Longitud (Parte alta)
  XBee.write(0x13);
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  XBee.write(0x10); //Tipo de mensaje, Solicitud de comando AT
  XBee.write(0x01); //Secuencia del mensaje
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  //Direccion de destino (0xFFFF) Broadcast
  XBee.write((byte)0x0);
  XBee.write((byte)0x0);
  XBee.write((byte)0x0);
  XBee.write((byte)0x0);
  XBee.write((byte)0x0);
  XBee.write((byte)0x0);
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  XBee.write((byte)0x0);
  XBee.write((byte)0x0);
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  // Direccion de la red de destino (0xFFFE) Broadcast
  XBee.write(0xFF);
  XBee.write(0xFE);
  //Comando Remoto
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  XBee.write((byte)0x0);
  XBee.write((byte)0x0);
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  //DATO
  XBee.write(value0); //cabecera
  XBee.write(value1); //Temperatura MSB
  XBee.write(value2); //Temperatura LSB
  XBee.write(value3); //Humedad MSB
  XBee.write(value4); //Humedad LSB
  ///////////////////////////////////////////////////////////////////
  //Checksum
  long sum= 0x10 + 0x01 + 0xFF + 0xFE + value0 + value1 + value2 + value3 + value4;
  XBee.write(0xFF- (sum & 0xFF ));

}

ISR(TIMER2_OVF_vect)
{
  cuenta++;

  if(cuenta > 30)
  {
    cuenta=0;

    sensors.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la temperatura
    temp= sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C

    MSB_TEMP = int(temp);
  }
}

```

```
LSB_TEMP = int((temp - MSB_TEMP) * 100);

dato_humedad = analogRead(sensorPin);

humedad = (5.0 * dato_humedad)/1023.0;

MSB_HUMEDAD = int(humedad);
LSB_HUMEDAD = int((humedad - MSB_HUMEDAD) * 100);

////////////////////////////////////

cabecera = 22;
sensorValue1 = MSB_TEMP;
sensorValue2 = LSB_TEMP;
sensorValue3 = MSB_HUMEDAD;
sensorValue4 = LSB_HUMEDAD;

TX_XBEE_ROUTER(cabecera,sensorValue1,sensorValue2,sensorValue3,sensorValue4);

}

}
```

*Fuente. Elaboración propia.*

## ANEXO I. ALGORITMO DEL MODULO ROUTER 4

```

//XBEE ROUTER 04 - ARDUINO UNO

#include <Wire.h>

////////////////////////////////////
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 7 // what digital pin we're connected to

// Uncomment whatever type you're using!
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
// #define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
// #define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

////////////////////////////////////
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial XBee(0,1); // RX, TX
////////////////////////////////////
volatile unsigned int cuenta = 0;

int cabecera = 0;
int sensorValue1 = 0;
int sensorValue2 = 0;
int sensorValue3 = 0;
int sensorValue4 = 0;

float t;
float h;
float UV;
float D_UV;

int D_TEMP;
int D_HUMD;

int MSB_UV;
int LSB_UV;

int sensorPin = A0;

////////////////////////////////////
void setup() {
// PREPARAR LA COMUNICACION SERIAL
// Serial.begin(9600);
XBee.begin(9600);////////////////////////////////////

// PREPARAR LA LIBRERIA PARA COMUNICARSE CON EL SENSOR
dht.begin();

////////////////////////////////////
SREG = (SREG & 0b01111111); //Desabilitar interrupciones
TIMSK2 = TIMSK2|0b00000001; //Habilita la interrupcion por desbordamiento
TCCR2B = 0b00000111; //Configura preescala para que FT2 sea de 7812.5Hz
SREG = (SREG & 0b01111111) | 0b10000000; //Habilitar interrupciones //Desabilitar interrupciones
////////////////////////////////////
}

void loop()
{

// ESPERAR ENTRE MEDICIONES, NECESARIO PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO
delay(2500);

// LEER LA HUMEDAD USANDO EL METRODO READHUMIDITY
h = dht.readHumidity();
// LEER LA TEMPERATURA USANDO EL METRODO READTEMPERATURE
t = dht.readTemperature();

D_TEMP=t;
D_HUMD=h;

```

```

// REVISAR QUE LOS RESULTADOS SEAN VALORES NUMERICOS VALIDOS, INDICANDO QUE LA
// COMUNICACION ES CORRECTA
if (isnan(h) || isnan(t))
{
//Falla
return;
}
}
void TX_XBEE_ROUTER(char value0,char value1,char value2, char value3, char value4)
{
XBee.write(0x7E); //byte de inicio
XBee.write((byte)0x0); //Longitud (Parte alta)
XBee.write(0x13);
////////////////////////////////////
XBee.write(0x10); //Tipo de mensaje, Solicitud de comando AT
XBee.write(0x01); //Secuencia del mensaje
////////////////////////////////////
//Direccion de destino (0xFFFF) Broadcast
XBee.write((byte)0x0);
XBee.write((byte)0x0);
XBee.write((byte)0x0);
XBee.write((byte)0x0);
XBee.write((byte)0x0);
XBee.write((byte)0x0);
////////////////////////////////////
XBee.write((byte)0x0);
XBee.write((byte)0x0);
////////////////////////////////////
// Direccion de la red de destino (0xFFFE) Broadcast
XBee.write(0xFF);
XBee.write(0xFE);
//Comando Remoto
////////////////////////////////////
XBee.write((byte)0x0);
XBee.write((byte)0x0);
////////////////////////////////////
//DATO
XBee.write(value0); //cabecera
XBee.write(value1); //TEMP
XBee.write(value2); //HUMD
XBee.write(value3); //MSB_UV
XBee.write(value4); //LSB_UV
////////////////////////////////////
//Checksum
long sum= 0x10 + 0x01 + 0xFF + 0xFE + value0 + value1 + value2 + value3 + value4;
XBee.write(0xFF- (sum & 0xFF ));
}

ISR(TIMER2_OVF_vect)
{
cuenta++;

if(cuenta > 30)
{
cuenta=0;
UV = analogRead(sensorPin);

D_UV = (5.0 * UV)/1023.0;

MSB_UV = int(D_UV);
LSB_UV = int((D_UV - MSB_UV) * 100);

cabecera = 22;
sensorValue1 = D_TEMP;
sensorValue2 = D_HUMD;
sensorValue3 = MSB_UV;
sensorValue4 = LSB_UV;

TX_XBEE_ROUTER(cabecera,sensorValue1,sensorValue2,sensorValue3,sensorValue4);
}
}

```

*Fuente. Elaboración propia.*

## ANEXO J. ADQUISICIÓN DE DATOS DEL CICLO DEL MAÍZ

**Cuadro 11. Adquisición de datos del periodo de preparación de terreno.**

PERIODO DE PREPARACIÓN DE TERRENO												
Nº	FECHA - HORA 5/10/2019	ROUTER 01		ROUTER 02		ROUTER 03		ROUTER 04			PROMEDIO ROUTER 1-2-3	
		Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temp. Ambiental (°C)	Humedad Relativa (HR%)	Radiación UV	Temp. Promedio (°C)	Conductividad
1	0	17.06	4.95	17.75	4.95	16.98	4.95	14	79	0.00	17.26	4.95
2	1	16.68	4.95	17.31	4.95	16.68	4.95	14	79	0.00	16.89	4.95
3	2	15.62	4.95	16.12	4.95	15.62	4.95	14	79	0.00	15.79	4.95
4	3	14.68	4.95	15.93	4.95	14.68	4.95	14	79	0.00	15.10	4.95
5	4	13.50	4.95	14.52	4.95	13.35	4.95	14	79	0.00	13.79	4.95
6	5	13.44	4.95	13.42	4.95	13.50	4.95	14	79	0.00	13.45	4.95
7	6	13.45	4.95	13.43	4.95	13.51	4.95	14	79	0.00	13.46	4.95
8	7	14.00	4.95	14.02	4.95	14.00	4.95	14	79	0.13	14.01	4.95
9	8	15.05	4.95	15.05	4.95	15.05	4.95	14	79	0.29	15.05	4.95
10	9	16.50	4.95	16.50	4.95	16.50	4.95	14	79	0.38	16.50	4.95
11	10	19.10	4.95	19.10	4.95	19.10	4.95	16	78	0.51	19.10	4.95
12	11	22.97	4.95	22.97	4.95	22.97	4.95	18	78	0.62	22.97	4.95
13	12	30.14	5.00	30.14	5.00	30.14	5.00	25	78	0.72	30.14	5.00
14	13	35.39	5.00	35.39	5.00	35.39	5.00	30	78	0.72	35.39	5.00
15	14	40.05	5.00	40.05	5.00	40.05	5.00	30	78	0.71	40.05	5.00
16	15	42.75	5.00	42.31	5.00	42.12	5.00	29	78	0.62	42.39	5.00
17	16	39.61	5.00	40.51	5.00	41.51	5.00	28	78	0.57	40.54	5.00
18	17	32.25	5.00	32.25	5.00	30.15	5.00	21	78	0.29	31.55	5.00
19	18	25.81	4.96	25.06	4.96	23.37	4.96	17	78	0.11	24.75	4.96
20	19	24.31	4.96	24.12	4.96	21.81	4.96	16	78	0.00	23.41	4.96
21	20	22.06	4.96	22.50	4.96	20.00	4.96	15	78	0.00	21.52	4.96
22	21	20.25	4.96	20.87	4.95	18.37	4.95	14	79	0.00	19.83	4.95
23	22	18.81	4.95	19.50	4.95	17.70	4.95	13	79	0.00	18.67	4.95
24	23	18.06	4.95	18.81	4.95	17.45	4.95	14	79	0.00	18.11	4.95

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 12. Adquisición de datos del periodo de siembra.**

PERIODO DE SIEMBRA												
Nº	FECHA - HORA 09/11/2019	ROUTER 01		ROUTER 02		ROUTER 03		ROUTER 04			PROMEDIO ROUTER 1-2-3	
		Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temp. Ambiental (°C)	Humedad Relativa (HR%)	Radiación UV	Temp. Promedio (°C)	Conductividad
1	0	16.15	1.13	16.45	1.09	16.21	1.10	9	81	0.00	16.27	1.11
2	1	15.68	1.15	16.01	1.15	15.75	1.14	9	82	0.00	15.81	1.15
3	2	15.62	1.15	16.00	1.15	15.62	1.14	8	82	0.00	15.75	1.15
4	3	14.95	1.15	15.93	1.15	14.98	1.14	8	82	0.00	15.29	1.15
5	4	14.85	1.14	15.10	1.14	14.87	1.13	8	82	0.00	14.94	1.14
6	5	14.94	1.15	15.15	1.15	15.00	1.13	8	82	0.00	15.03	1.14
7	6	14.96	1.16	15.17	1.17	15.11	1.14	8	82	0.00	15.08	1.16
8	7	15.05	1.20	15.20	1.20	15.35	1.21	10	82	0.10	15.13	1.20
9	8	15.15	1.21	15.25	1.21	15.25	1.21	12	82	0.33	15.22	1.21
10	9	16.50	1.24	16.70	1.24	16.50	1.24	14	81	0.39	16.57	1.24
11	10	19.10	1.30	18.95	1.30	19.10	1.30	16	81	0.40	19.05	1.30
12	11	22.97	1.50	22.85	1.50	23.10	1.49	18	81	0.50	22.97	1.50
13	12	28.45	1.55	28.14	1.54	28.45	1.50	20	81	0.62	28.35	1.53
14	13	29.50	1.55	29.39	1.55	29.14	1.50	22	80	0.65	29.34	1.53
15	14	29.68	1.56	30.05	1.55	29.86	1.51	21	80	0.65	29.86	1.54
16	15	30.23	1.57	30.20	1.55	30.27	1.51	19	80	0.60	30.23	1.54
17	16	29.65	1.55	29.10	1.53	29.84	1.50	18	80	0.50	29.53	1.53
18	17	27.15	1.50	28.00	1.50	28.75	1.49	17	80	0.40	27.97	1.50
19	18	25.55	1.42	25.06	1.41	24.60	1.42	15	80	0.10	25.07	1.42
20	19	23.75	1.20	24.12	1.21	22.55	1.19	13	81	0.00	23.47	1.20
21	20	20.14	1.18	22.50	1.18	20.00	1.18	12	81	0.00	20.88	1.18
22	21	18.25	1.15	20.87	1.15	18.37	1.15	10	81	0.00	19.16	1.15
23	22	17.81	1.14	19.50	1.14	17.70	1.14	10	81	0.00	18.34	1.14
24	23	17.06	1.13	18.81	1.10	17.45	1.10	9	81	0.00	17.77	1.11

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 13. Adquisición de datos del periodo de crecimiento: cultivo y reclusivo.**

PERIODO DE CRECIMIENTO: CULTIVO Y RECLUSIVO												
N°	FECHA - HORA 21/12/2019	ROUTER 01		ROUTER 02		ROUTER 03		ROUTER 04			PROMEDIO ROUTER 1-2-3	
		Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temp. Ambiental (°C)	Humedad Relativa (HR%)	Radiación UV	Temp. Promedio (°C)	Conductividad
1	0	17.80	1.10	17.78	1.11	17.79	1.17	9	81	0.00	17.79	1.13
2	1	17.72	1.15	17.72	1.16	17.72	1.17	9	82	0.00	17.72	1.16
3	2	17.70	1.15	17.70	1.16	17.71	1.15	8	82	0.00	17.70	1.15
4	3	17.64	1.15	17.63	1.16	17.64	1.15	8	82	0.00	17.64	1.15
5	4	17.61	1.14	17.61	1.15	17.61	1.14	8	82	0.00	17.61	1.14
6	5	17.49	1.15	17.49	1.15	17.49	1.15	8	82	0.00	17.49	1.15
7	6	17.51	1.17	17.51	1.16	17.51	1.18	8	82	0.00	17.51	1.17
8	7	17.98	1.20	17.99	1.19	17.98	1.21	10	82	0.10	17.98	1.20
9	8	18.15	1.21	18.17	1.21	18.12	1.21	12	82	0.35	18.15	1.21
10	9	18.96	1.24	18.96	1.24	18.96	1.24	14	81	0.40	18.96	1.24
11	10	19.10	1.30	19.10	1.30	19.10	1.30	16	81	0.46	19.10	1.30
12	11	22.97	1.50	22.97	1.50	22.97	1.50	18	81	0.50	22.97	1.50
13	12	23.41	1.65	23.41	1.65	23.41	1.65	20	81	0.55	23.41	1.65
14	13	24.25	1.67	24.25	1.67	24.25	1.67	20	80	0.55	24.25	1.67
15	14	24.68	1.71	24.68	1.71	24.68	1.71	20	80	0.54	24.68	1.71
16	15	25.15	1.72	25.24	1.72	25.04	1.72	19	80	0.42	25.14	1.72
17	16	24.50	1.70	24.50	1.70	24.50	1.70	18	80	0.35	24.50	1.70
18	17	23.14	1.64	23.14	1.61	23.14	1.64	17	80	0.26	23.14	1.63
19	18	22.10	1.42	22.10	1.46	22.10	1.42	15	81	0.10	22.10	1.43
20	19	19.42	1.20	19.42	1.21	19.42	1.20	13	81	0.00	19.42	1.20
21	20	18.78	1.18	18.78	1.18	18.78	1.18	12	81	0.00	18.78	1.18
22	21	18.55	1.15	18.55	1.15	18.55	1.17	10	81	0.00	18.55	1.16
23	22	17.98	1.14	17.99	1.14	17.98	1.17	10	81	0.00	17.98	1.15
24	23	17.80	1.10	17.80	1.11	17.80	1.17	9	81	0.00	17.80	1.13

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 14. Adquisición de datos del periodo de crecimiento: florecimiento.**

PERIODO DE CRECIMIENTO: FLORECIMIENTO												
N°	FECHA - HORA 18/01/2020	ROUTER 01		ROUTER 02		ROUTER 03		ROUTER 04			PROMEDIO ROUTER 1-2-3	
		Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temp. Ambiental (°C)	Humedad Relativa (HR%)	Radiación UV	Temp. Promedio (°C)	Conductividad
1	0	18.20	1.10	18.20	1.11	18.20	1.17	9	81	0.00	18.20	1.13
2	1	18.14	1.15	18.14	1.16	18.14	1.17	9	82	0.00	18.14	1.16
3	2	18.14	1.15	18.14	1.16	18.14	1.15	8	82	0.00	18.14	1.15
4	3	18.12	1.15	18.12	1.16	18.12	1.15	8	82	0.00	18.12	1.15
5	4	18.08	1.14	18.08	1.15	18.08	1.14	8	82	0.00	18.08	1.14
6	5	18.02	1.15	18.08	1.15	18.04	1.15	8	82	0.00	18.05	1.15
7	6	18.02	1.15	18.08	1.15	18.04	1.15	8	82	0.00	18.05	1.15
8	7	18.18	1.20	18.18	1.19	18.18	1.21	10	82	0.10	18.18	1.20
9	8	19.20	1.21	19.20	1.21	19.20	1.21	12	82	0.25	19.20	1.21
10	9	19.60	1.24	19.60	1.24	19.60	1.24	14	81	0.37	19.60	1.24
11	10	19.68	1.30	19.68	1.30	19.68	1.30	16	81	0.41	19.68	1.30
12	11	19.70	1.50	19.70	1.50	19.70	1.50	18	81	0.45	19.70	1.50
13	12	20.00	1.50	20.00	1.65	20.00	1.65	20	81	0.51	20.00	1.60
14	13	20.10	1.51	20.10	1.67	20.10	1.67	20	80	0.51	20.10	1.62
15	14	20.12	1.53	20.12	1.71	20.12	1.71	20	80	0.51	20.12	1.65
16	15	20.21	1.55	20.18	1.72	20.36	1.72	19	80	0.45	20.25	1.66
17	16	19.88	1.50	19.88	1.70	19.88	1.70	18	80	0.40	19.88	1.63
18	17	19.65	1.48	19.65	1.61	19.65	1.64	17	80	0.31	19.65	1.58
19	18	19.42	1.42	19.42	1.46	19.42	1.42	15	81	0.10	19.42	1.43
20	19	19.00	1.20	19.00	1.21	19.00	1.20	13	81	0.00	19.00	1.20
21	20	18.95	1.18	18.95	1.18	18.95	1.18	12	81	0.00	18.95	1.18
22	21	18.41	1.15	18.41	1.15	18.41	1.17	10	81	0.00	18.41	1.16
23	22	18.30	1.14	18.30	1.14	18.30	1.17	10	81	0.00	18.30	1.15
24	23	18.20	1.10	18.20	1.11	18.20	1.17	9	81	0.00	18.20	1.13

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 15. Adquisición de datos del periodo de crecimiento: maduración.**

PERIODO DE CRECIMIENTO: MADURACIÓN												
N°	FECHA - HORA 29/02/2020	ROUTER 01		ROUTER 02		ROUTER 03		ROUTER 04			PROMEDIO ROUTER 1-2-3	
		Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temp. Ambiental (°C)	Humedad Relativa (HR%)	Radiación UV	Temp. Promedio (°C)	Conductividad
1	0	18.50	1.10	18.47	1.11	18.55	1.17	9	81	0.00	18.51	1.13
2	1	18.44	1.15	18.44	1.16	18.53	1.17	9	81	0.00	18.47	1.16
3	2	18.43	1.15	18.43	1.16	18.51	1.15	8	82	0.00	18.46	1.15
4	3	18.42	1.15	18.42	1.16	18.50	1.15	8	82	0.00	18.45	1.15
5	4	18.40	1.14	18.40	1.15	18.45	1.14	8	82	0.00	18.42	1.14
6	5	18.38	1.15	18.24	1.15	18.41	1.15	8	82	0.00	18.34	1.15
7	6	18.38	1.15	18.24	1.15	18.41	1.15	8	82	0.00	18.34	1.15
8	7	18.98	1.20	18.94	1.19	18.85	1.21	10	81	0.08	18.92	1.20
9	8	19.20	1.21	19.20	1.21	19.20	1.21	12	81	0.19	19.20	1.21
10	9	19.60	1.24	19.60	1.24	19.60	1.24	14	81	0.28	19.60	1.24
11	10	19.68	1.30	19.68	1.30	19.68	1.30	16	81	0.35	19.68	1.30
12	11	19.70	1.50	19.70	1.50	19.70	1.50	18	81	0.47	19.70	1.50
13	12	20.11	1.50	20.10	1.65	20.14	1.62	18	81	0.52	20.12	1.59
14	13	20.50	1.51	20.31	1.67	20.27	1.64	19	80	0.52	20.36	1.61
15	14	20.84	1.53	20.35	1.71	20.34	1.65	19	80	0.52	20.51	1.63
16	15	20.96	1.55	20.87	1.72	20.90	1.65	18	80	0.51	20.91	1.64
17	16	19.91	1.50	19.88	1.70	19.95	1.65	18	80	0.42	19.91	1.62
18	17	19.65	1.48	19.65	1.61	19.65	1.64	17	80	0.28	19.65	1.58
19	18	19.42	1.42	19.42	1.46	19.42	1.42	15	81	0.10	19.42	1.43
20	19	19.12	1.20	19.00	1.21	19.00	1.20	13	81	0.00	19.04	1.20
21	20	18.95	1.18	18.95	1.18	18.95	1.18	12	81	0.00	18.95	1.18
22	21	18.65	1.15	18.67	1.15	18.65	1.17	10	81	0.00	18.66	1.16
23	22	18.60	1.14	18.62	1.14	18.60	1.17	10	81	0.00	18.61	1.15
24	23	18.50	1.10	18.51	1.11	18.57	1.17	9	81	0.00	18.53	1.13

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 16. Adquisición de datos del periodo de cosecha.**

PERIODO DE COSECHA												
N°	FECHA - HORA 04/04/2020	ROUTER 01		ROUTER 02		ROUTER 03		ROUTER 04			PROMEDIO ROUTER 1-2-3	
		Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temp. Ambiental (°C)	Humedad Relativa (HR%)	Radiación UV	Temp. Promedio (°C)	Conductividad
1	0	15.18	1.24	15.21	1.10	15.17	1.10	8	81	0.00	15.19	1.15
2	1	15.14	1.26	15.14	1.15	15.14	1.15	8	82	0.00	15.14	1.19
3	2	15.02	1.26	15.02	1.15	15.02	1.15	8	82	0.00	15.02	1.19
4	3	14.98	1.25	14.98	1.15	14.98	1.15	8	82	0.00	14.98	1.18
5	4	14.35	1.24	14.35	1.14	14.35	1.14	8	82	0.00	14.35	1.17
6	5	13.97	1.23	14.05	1.15	13.95	1.15	8	82	0.00	13.99	1.18
7	6	13.97	1.23	14.05	1.15	13.95	1.15	8	82	0.00	13.99	1.18
8	7	14.85	1.20	14.87	1.20	14.90	1.20	10	82	0.10	14.87	1.20
9	8	15.05	1.21	15.05	1.21	15.05	1.21	12	82	0.26	15.05	1.21
10	9	16.50	1.24	16.50	1.24	16.50	1.24	14	81	0.34	16.50	1.24
11	10	19.10	1.30	19.10	1.30	19.10	1.30	16	81	0.40	19.10	1.30
12	11	22.97	1.50	22.97	1.50	22.97	1.50	18	81	0.51	22.97	1.50
13	12	23.41	2.50	23.41	2.50	23.41	2.50	19	81	0.60	23.41	2.50
14	13	24.25	2.35	24.25	2.35	24.25	2.35	19	80	0.62	24.25	2.35
15	14	24.68	2.41	24.68	2.41	24.68	2.41	19	80	0.62	24.68	2.41
16	15	25.15	2.45	25.24	2.45	25.04	2.45	18	80	0.55	25.14	2.45
17	16	24.50	2.35	24.50	2.35	24.50	2.35	17	80	0.47	24.50	2.35
18	17	23.14	2.00	23.14	2.00	23.14	2.00	16	80	0.32	23.14	2.00
19	18	22.10	1.85	22.10	1.85	22.10	1.85	15	81	0.10	22.10	1.85
20	19	19.42	1.20	19.42	1.20	19.42	1.20	13	81	0.00	19.42	1.20
21	20	18.78	1.18	18.78	1.18	18.67	1.18	12	81	0.00	18.74	1.18
22	21	17.55	1.15	17.54	1.15	17.62	1.15	10	81	0.00	17.57	1.15
23	22	16.24	1.14	16.35	1.14	16.33	1.14	10	81	0.00	16.31	1.14
24	23	15.20	1.24	15.21	1.10	15.33	1.10	9	81	0.00	15.25	1.15

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 17. Adquisición de datos del periodo de helada y sequía.**

N°	FECHA - HORA 15/08/2020	PERIODO DE HELADA Y SEQUÍA										PROMEDIO ROUTER 1-2-3	
		ROUTER 01		ROUTER 02		ROUTER 03		ROUTER 04			Temp. Promedio (C°)	Conductividad	
		Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temperatura (°C)	Conductividad	Temp. Ambiental (°C)	Humedad Relativa (HRN)	Radiación UV			
1	0	12.00	4.95	12.01	4.95	12.14	4.95	8	75	0.00	12.05	4.95	
2	1	11.21	4.95	11.21	4.95	11.21	4.95	8	75	0.00	11.21	4.95	
3	2	11.05	4.95	11.07	4.95	11.08	4.95	7	75	0.00	11.07	4.95	
4	3	10.95	4.95	10.95	4.95	10.95	4.95	7	75	0.00	10.95	4.95	
5	4	10.33	4.95	10.35	4.95	10.32	4.95	7	75	0.00	10.33	4.95	
6	5	10.22	4.95	10.25	4.95	10.27	4.95	7	75	0.00	10.25	4.95	
7	6	10.22	4.95	10.25	4.95	10.27	4.95	7	75	0.00	10.25	4.95	
8	7	15.05	4.95	10.06	4.95	15.05	4.95	10	75	0.10	13.39	4.95	
9	8	15.15	4.95	15.24	4.95	15.22	4.95	12	75	0.28	15.20	4.95	
10	9	16.50	4.95	16.52	4.95	16.50	4.95	15	75	0.34	16.51	4.95	
11	10	19.11	4.95	19.10	4.95	19.12	4.95	16	75	0.40	19.11	4.95	
12	11	22.97	4.95	22.97	4.95	22.97	4.95	18	75	0.52	22.97	4.95	
13	12	28.45	5.00	28.45	5.00	28.45	5.00	23	75	0.60	28.45	5.00	
14	13	29.42	5.00	29.42	5.00	29.42	5.00	23	75	0.66	29.42	5.00	
15	14	29.68	5.00	29.68	5.00	29.68	5.00	23	74	0.65	29.68	5.00	
16	15	30.81	5.00	30.75	5.00	30.71	5.00	22	74	0.59	30.76	5.00	
17	16	29.32	5.00	29.36	5.00	29.34	5.00	22	74	0.41	29.34	5.00	
18	17	27.14	5.00	27.15	5.00	27.14	5.00	18	74	0.27	27.14	5.00	
19	18	24.16	4.96	24.26	4.96	24.16	4.96	17	74	0.10	24.19	4.96	
20	19	20.81	4.96	20.81	4.96	20.81	4.96	16	74	0.00	20.81	4.96	
21	20	18.45	4.96	18.44	4.96	18.35	4.96	14	74	0.00	18.41	4.96	
22	21	15.24	4.97	15.24	4.97	15.24	4.97	11	75	0.00	15.24	4.97	
23	22	13.62	4.95	13.62	4.95	13.62	4.95	10	75	0.00	13.62	4.95	
24	23	12.11	4.95	12.13	4.95	12.21	4.95	9	75	0.00	12.15	4.95	

Fuente. Elaboración propia.

## ANEXO K. GRAFICAS DE DATOS DEL CICLO DEL MAÍZ

### PERIODO DE PREPARACIÓN DE TERRENO

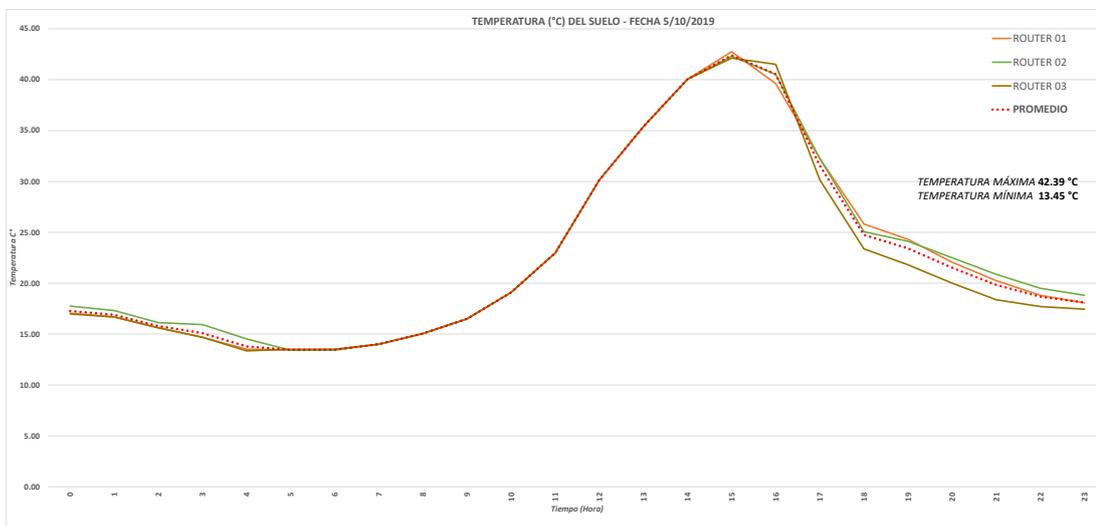


Figura 99. Gráfica de temperatura del suelo - Preparación de terreno.  
Fuente. Elaboración propia

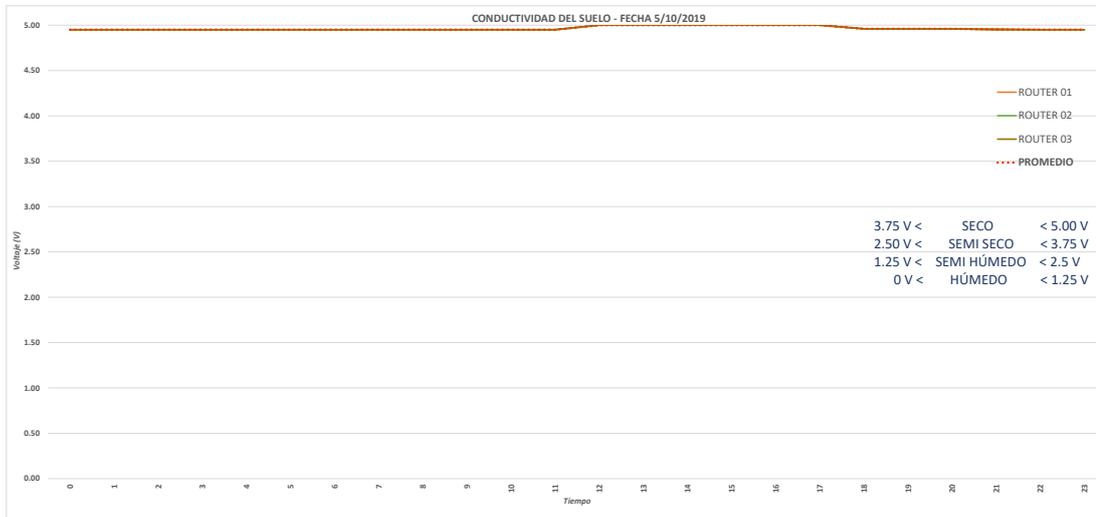
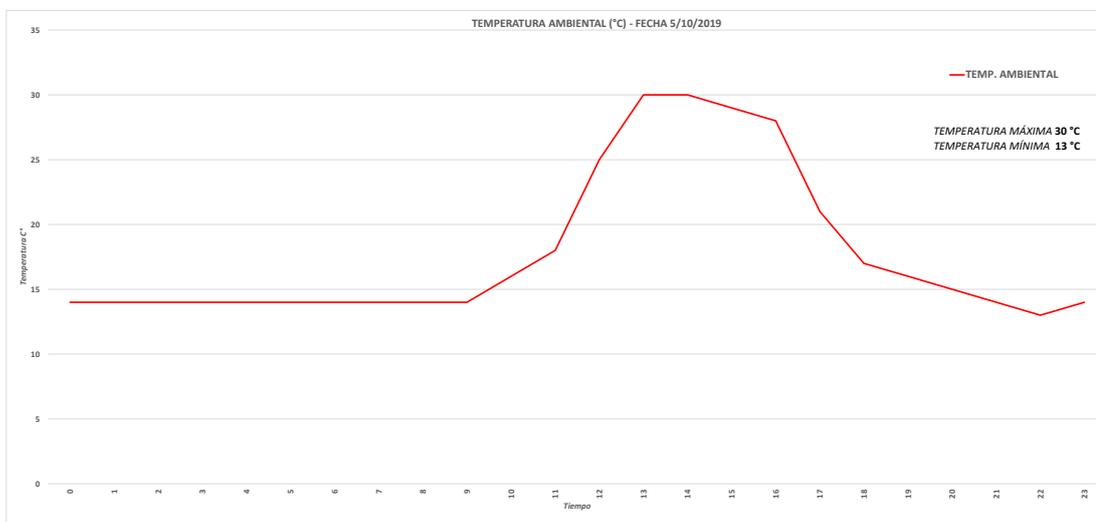
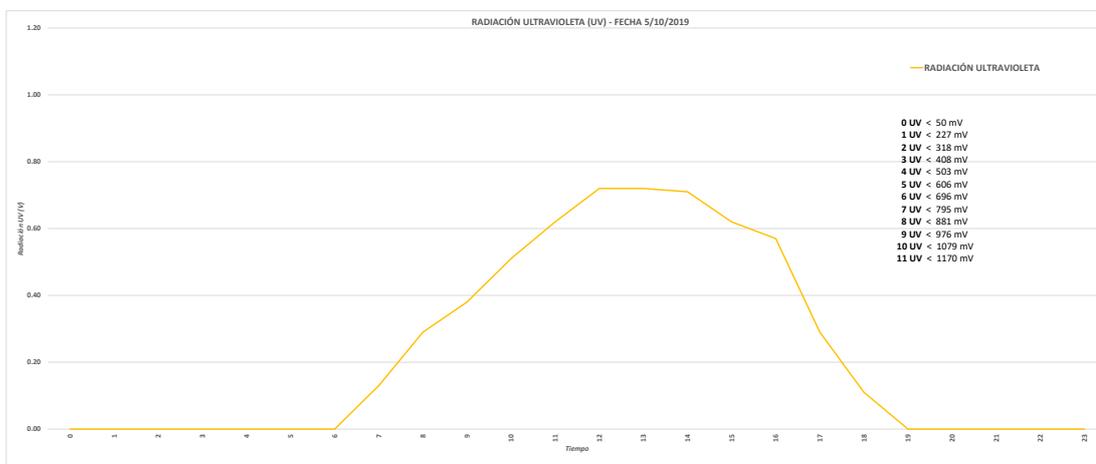


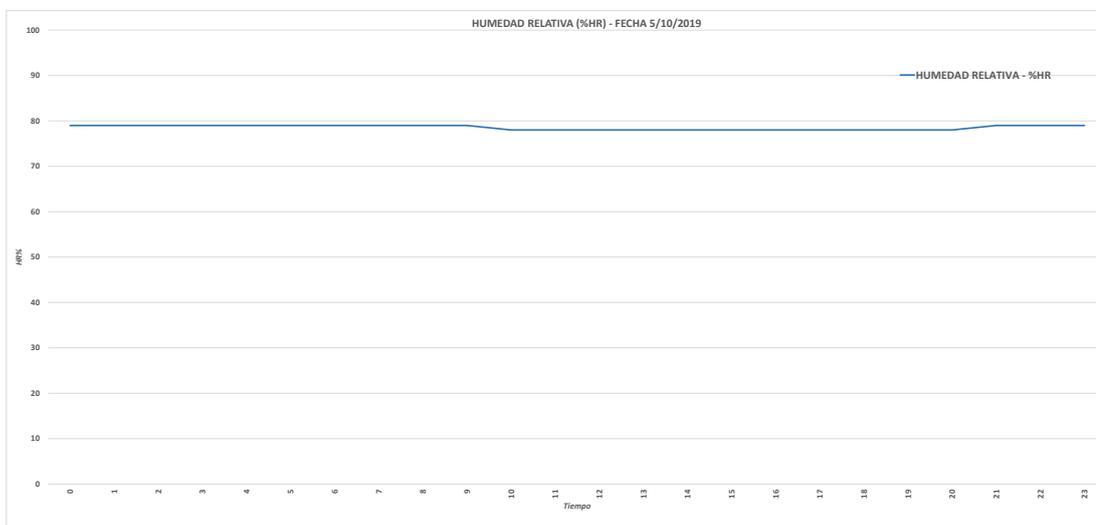
Figura 100. Gráfica de conductividad del suelo - Preparación de terreno.  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 101. Gráfica de temperatura ambiental - Preparación de terreno.**  
Fuente. Elaboración propia

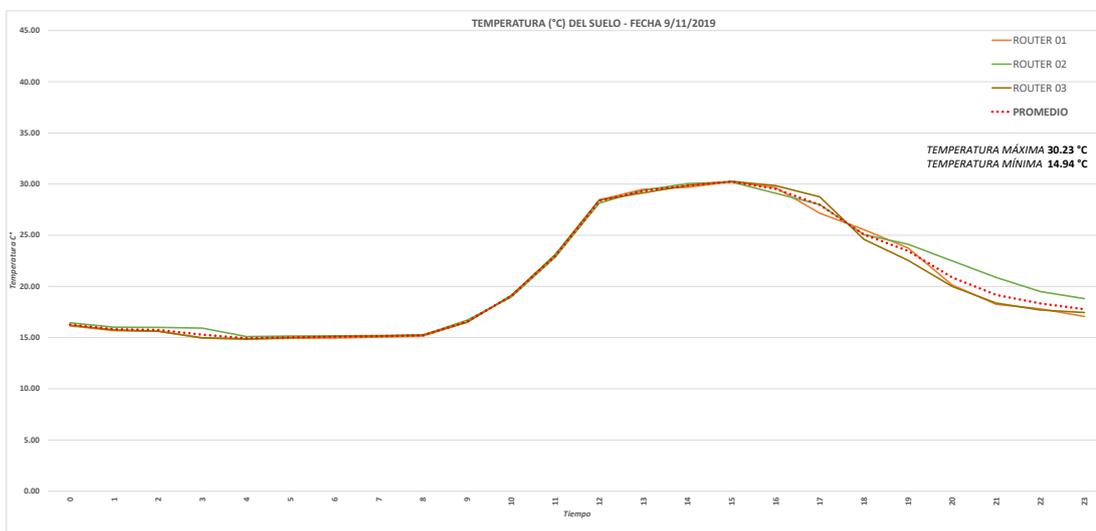


**Figura 102. Gráfica de radiación ultravioleta - Preparación de terreno.**  
Fuente. Elaboración propia

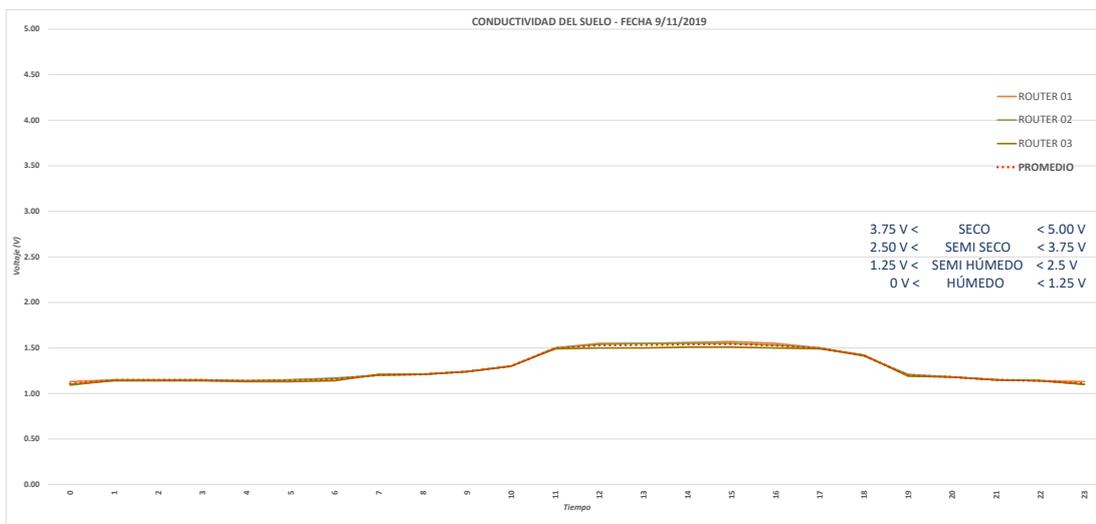


**Figura 103. Gráfica de humedad relativa - Preparación de terreno.**  
Fuente. Elaboración propia

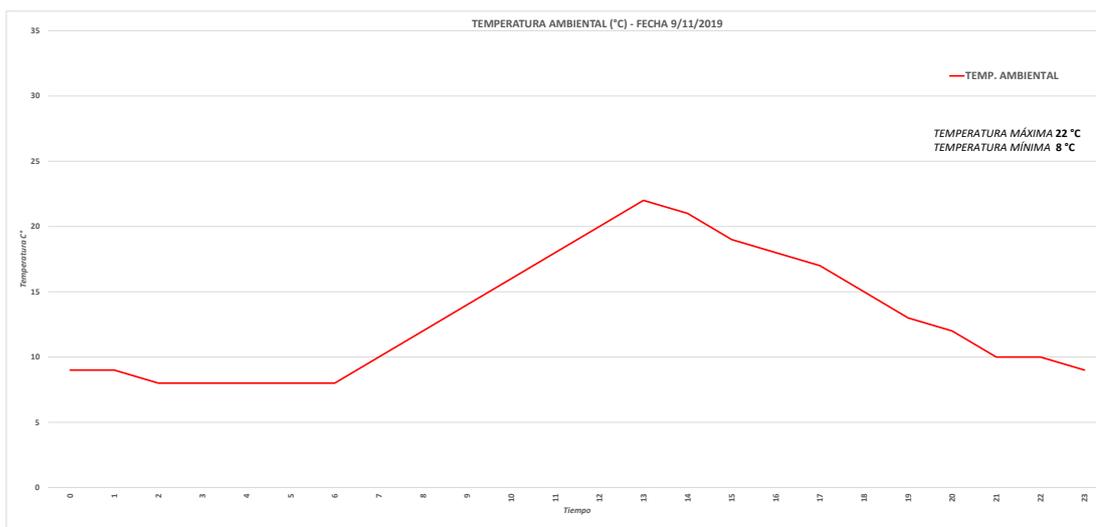
## PERIODO DE SIEMBRA



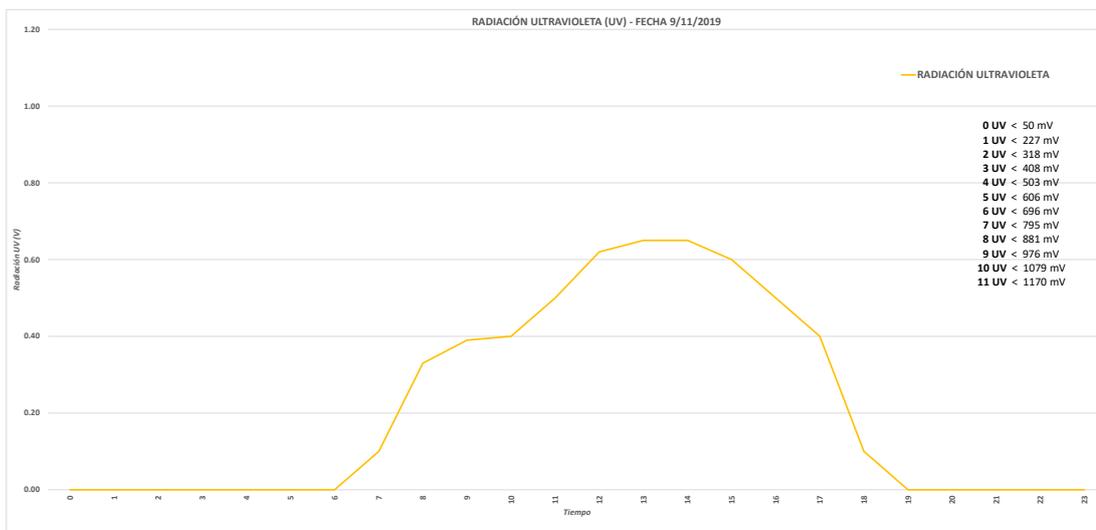
**Figura 104. Gráfica de temperatura del suelo - Siembra.**  
Fuente. Elaboración propia



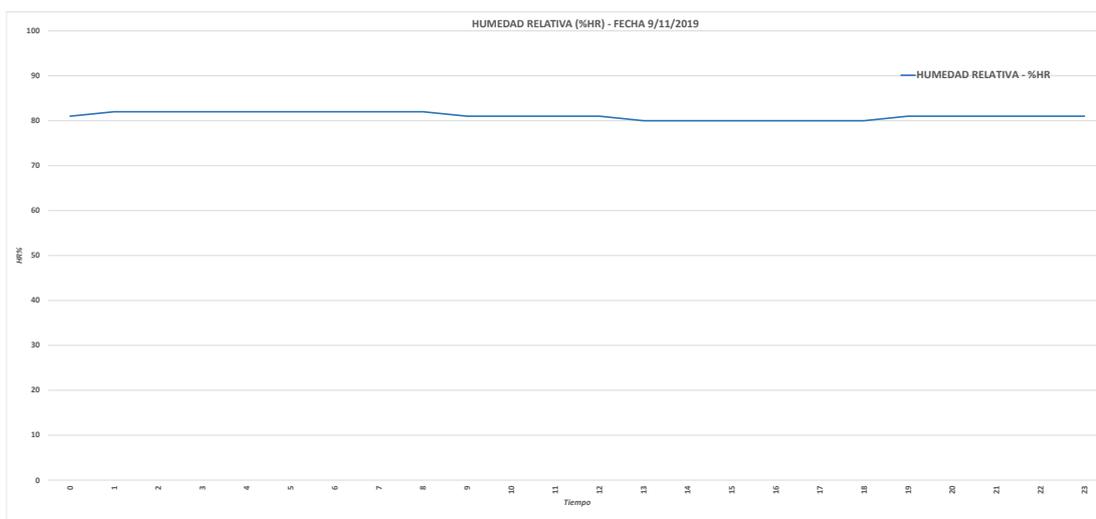
**Figura 105. Gráfica de conductividad del suelo - Siembra.**  
 Fuente. Elaboración propia



**Figura 106. Gráfica de temperatura ambiental - Siembra.**  
 Fuente. Elaboración propia



**Figura 107. Gráfica de radiación ultravioleta - Siembra.**  
*Fuente. Elaboración propia*



**Figura 108. Gráfica de humedad relativa - Siembra.**  
*Fuente. Elaboración propia*

### PERIODO DE CULTIVO Y RECULTIVO

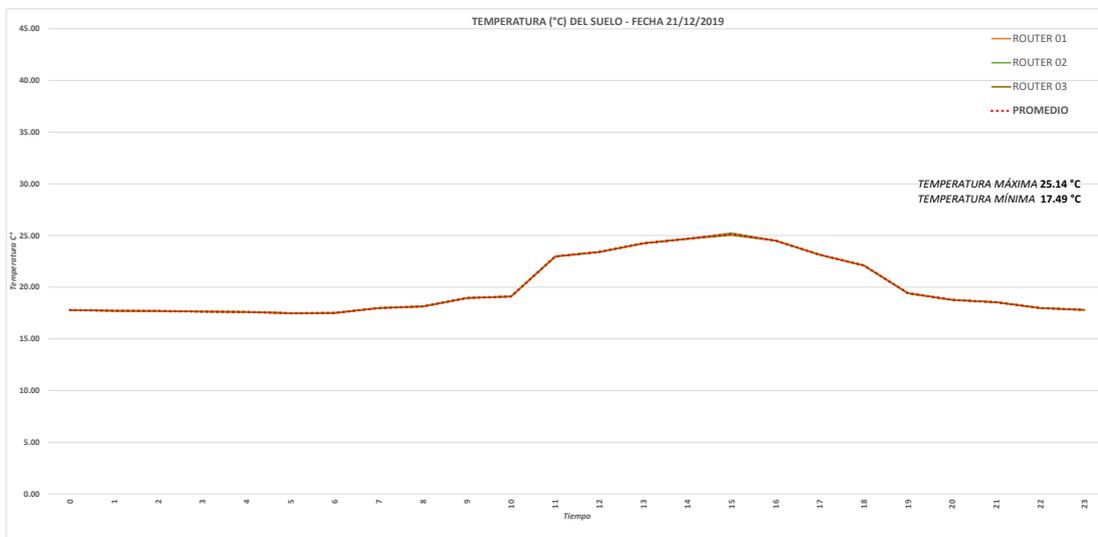


Figura 109. Gráfica de temperatura del suelo – Cultivo y Recultivo.  
Fuente. Elaboración propia

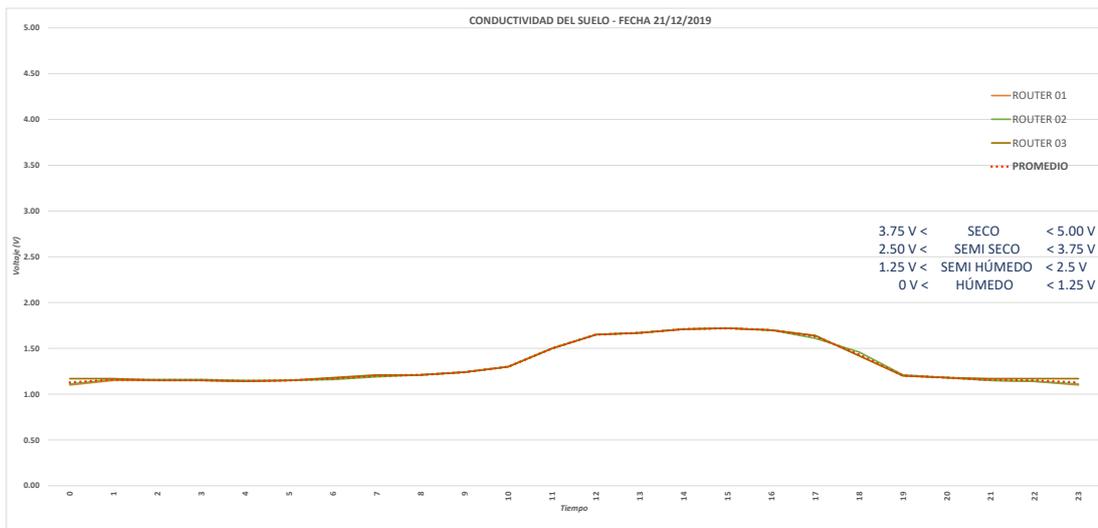
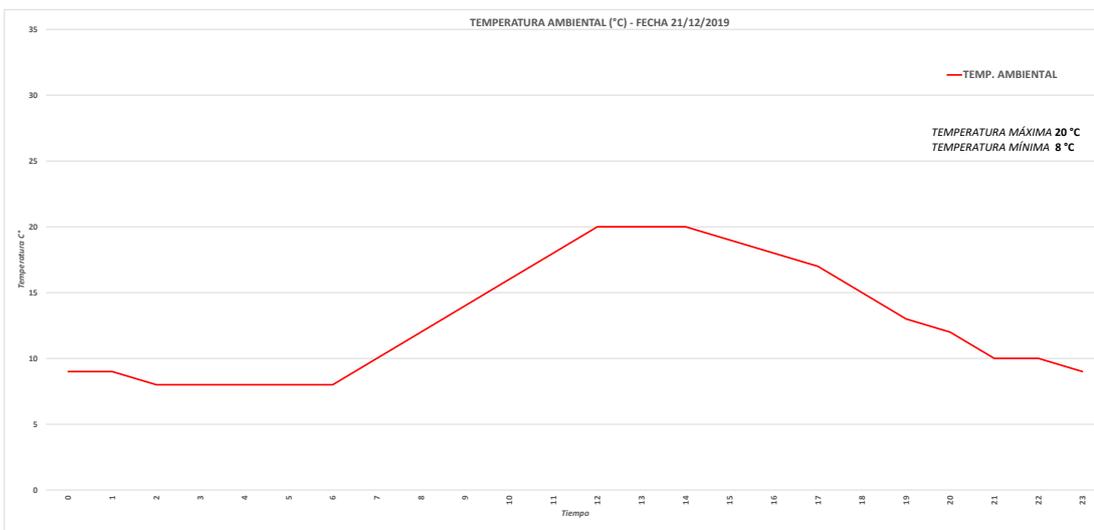
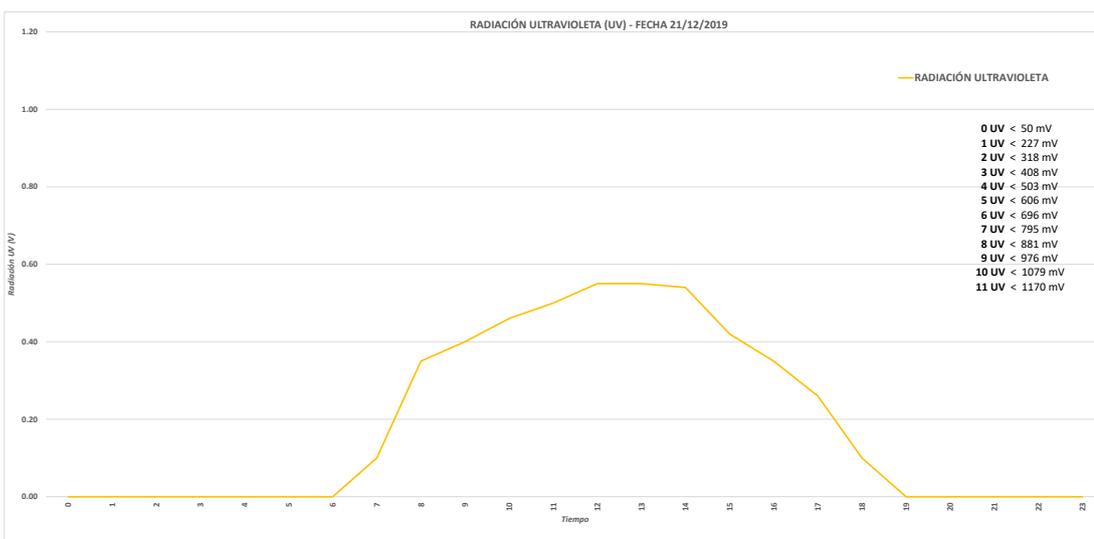


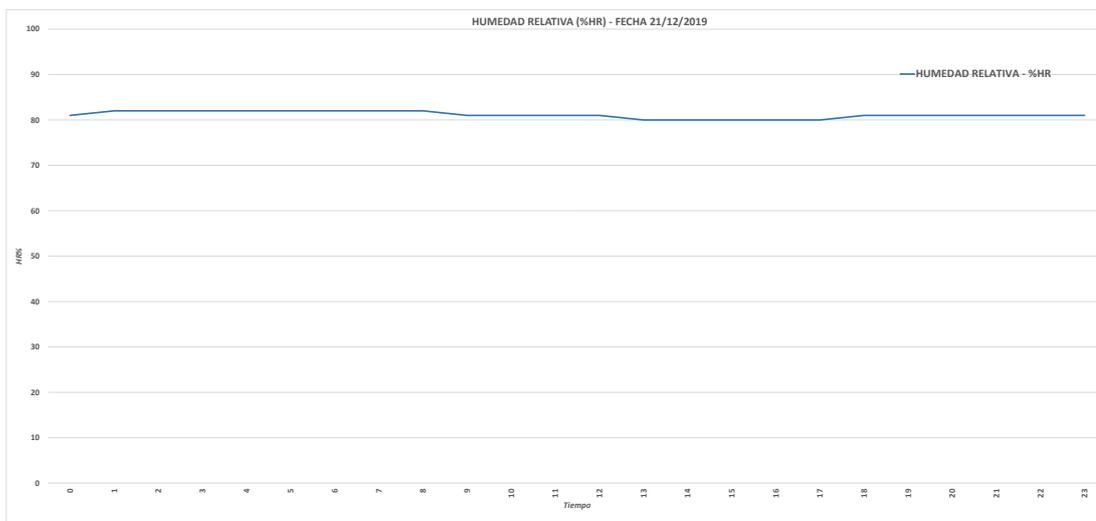
Figura 110. Gráfica de conductividad del suelo - Cultivo y Recultivo.  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 111. Gráfica de temperatura ambiental - Cultivo y Recultivo.**  
 Fuente. Elaboración propia

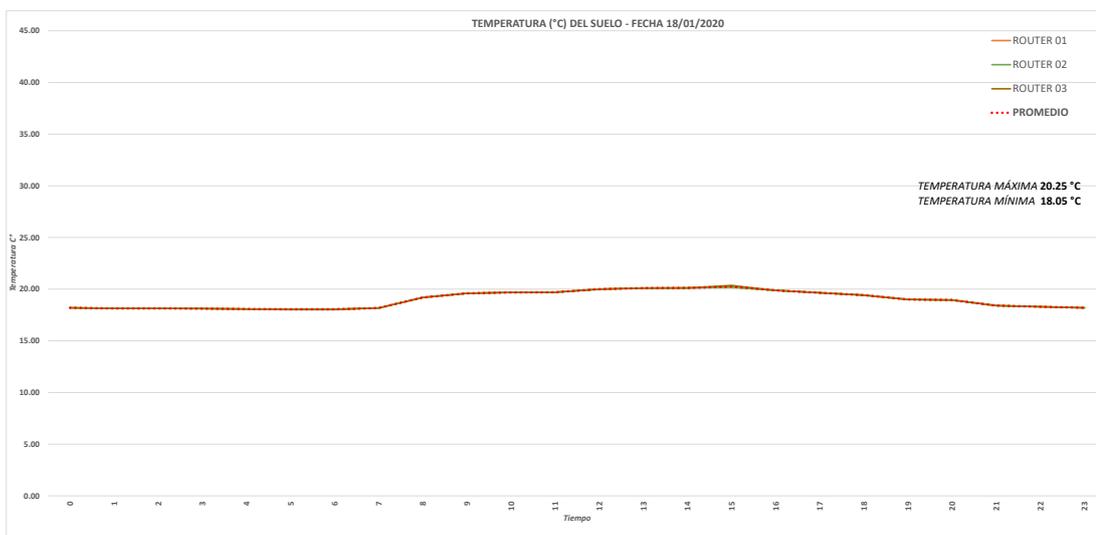


**Figura 112. Gráfica de radiación ultravioleta - Cultivo y Recultivo.**  
 Fuente. Elaboración propia

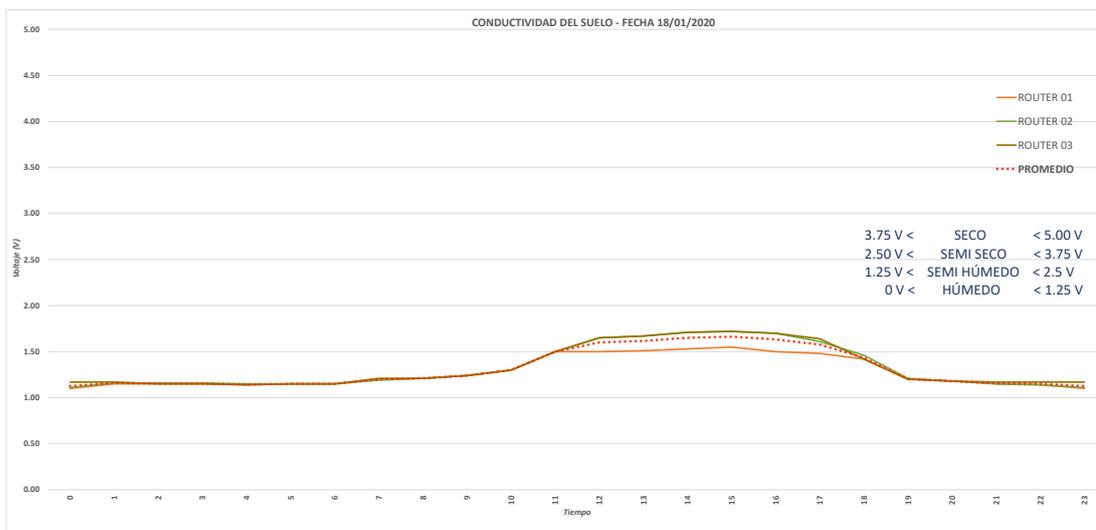


**Figura 113. Gráfica de humedad relativa - Cultivo y Recultivo.**  
Fuente. Elaboración propia

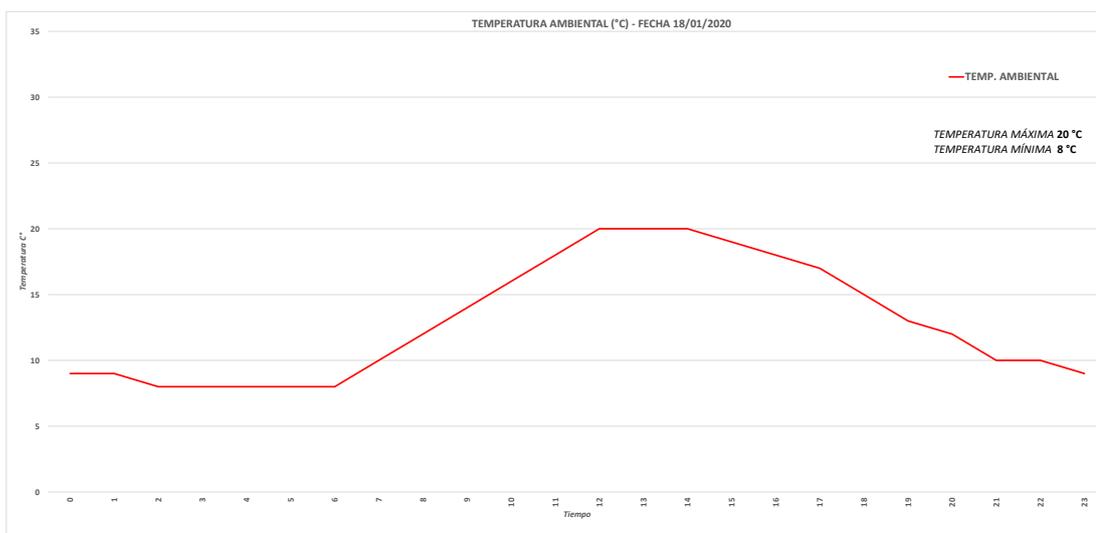
## PERIODO DE FLORECIMIENTO



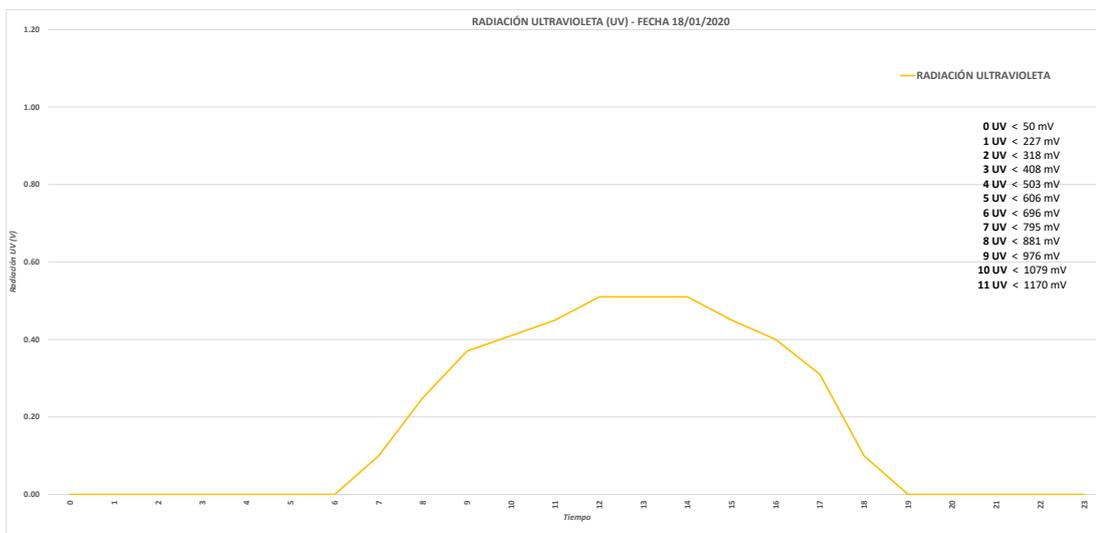
**Figura 114. Gráfica de temperatura del suelo - Florecimiento.**  
Fuente. Elaboración propia



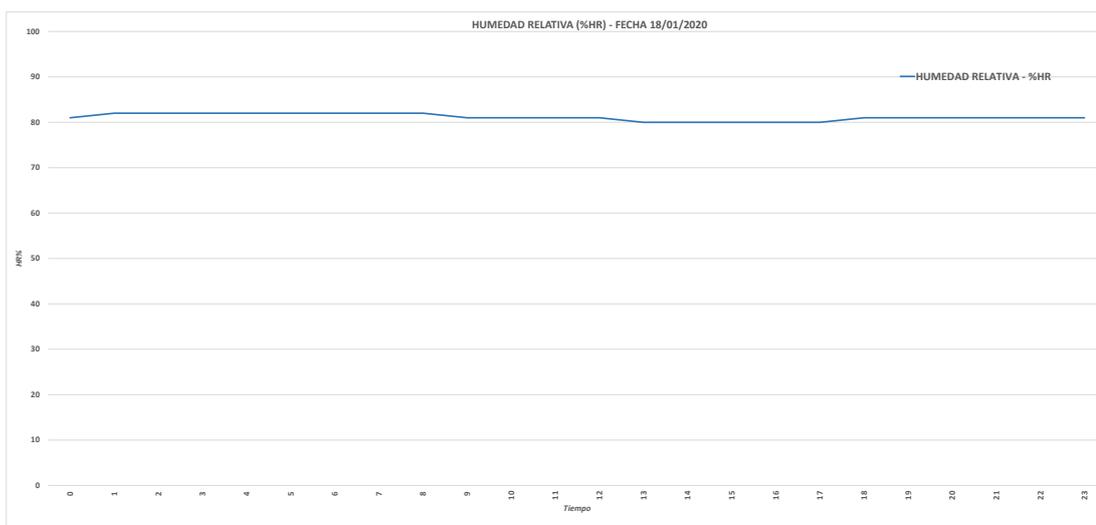
**Figura 115. Gráfica de conductividad del suelo - Florecimiento.**  
 Fuente. Elaboración propia



**Figura 116. Gráfica de temperatura ambiental - Florecimiento.**  
 Fuente. Elaboración propia



**Figura 117. Gráfica de radiación ultravioleta - Florecimiento.**  
*Fuente. Elaboración propia*



**Figura 118. Gráfica de humedad relativa - Florecimiento.**  
*Fuente. Elaboración propia*

## PERIODO DE MADURACIÓN

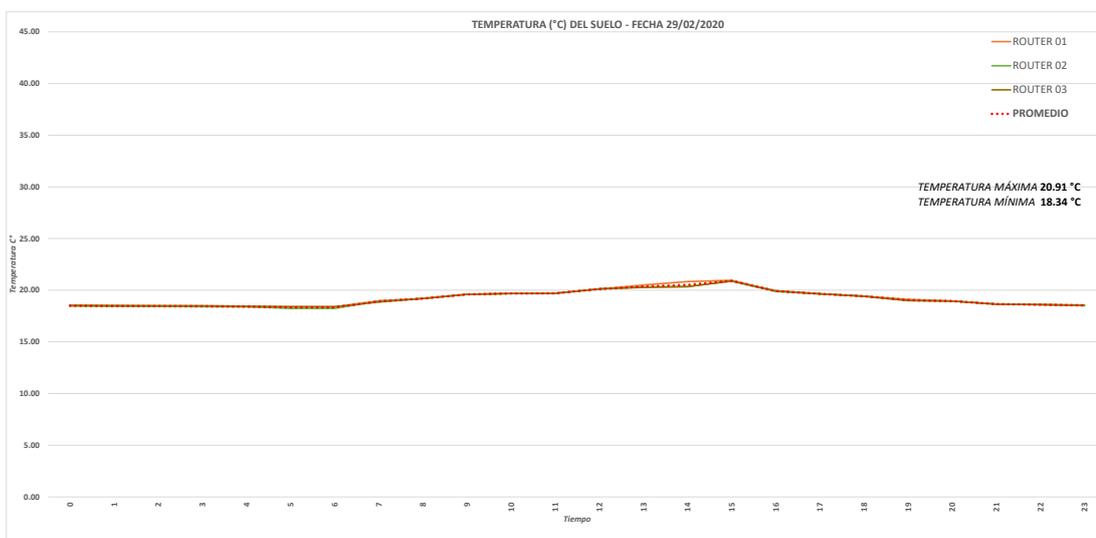


Figura 119. Gráfica de temperatura del suelo - Maduración.  
Fuente. Elaboración propia

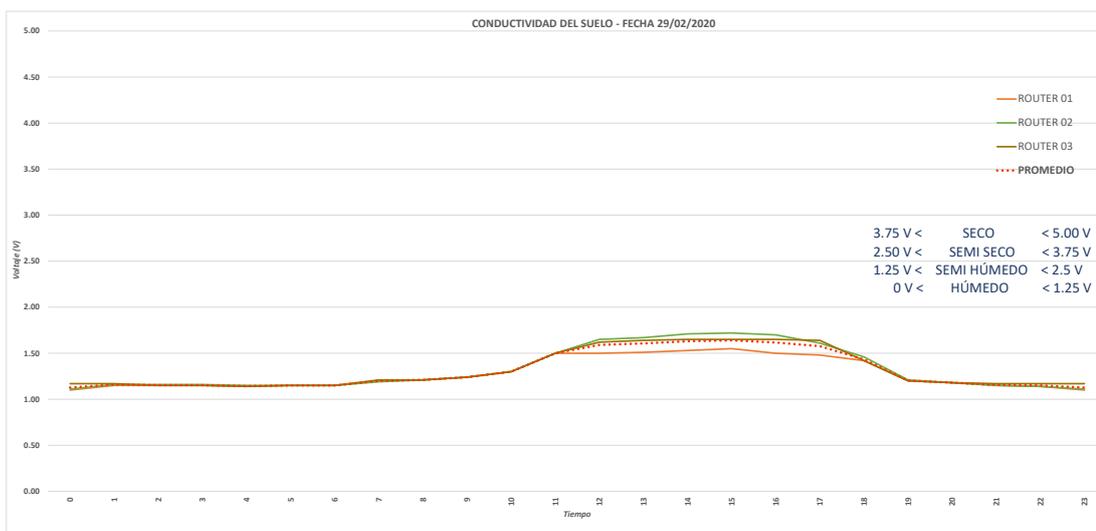
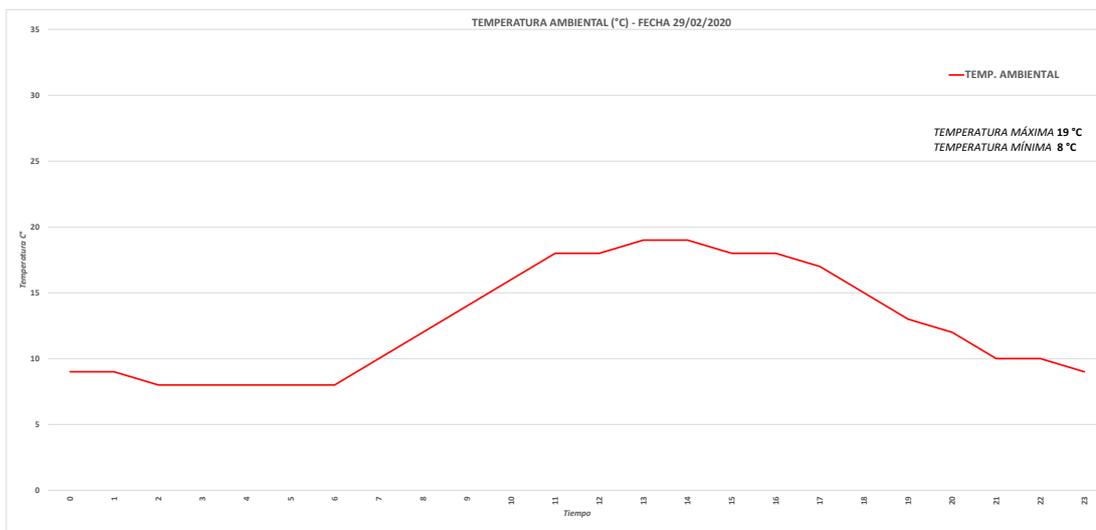
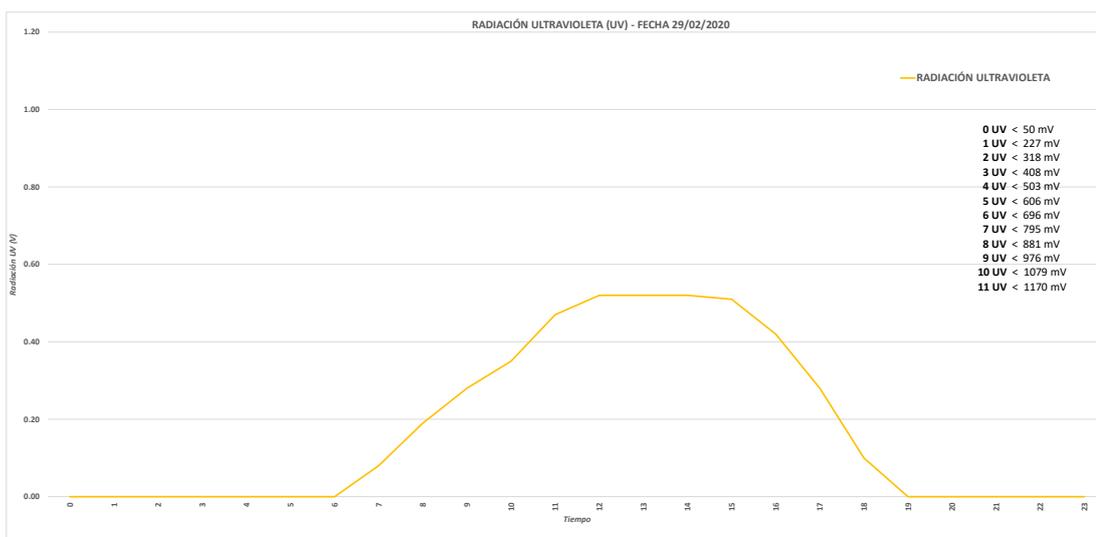


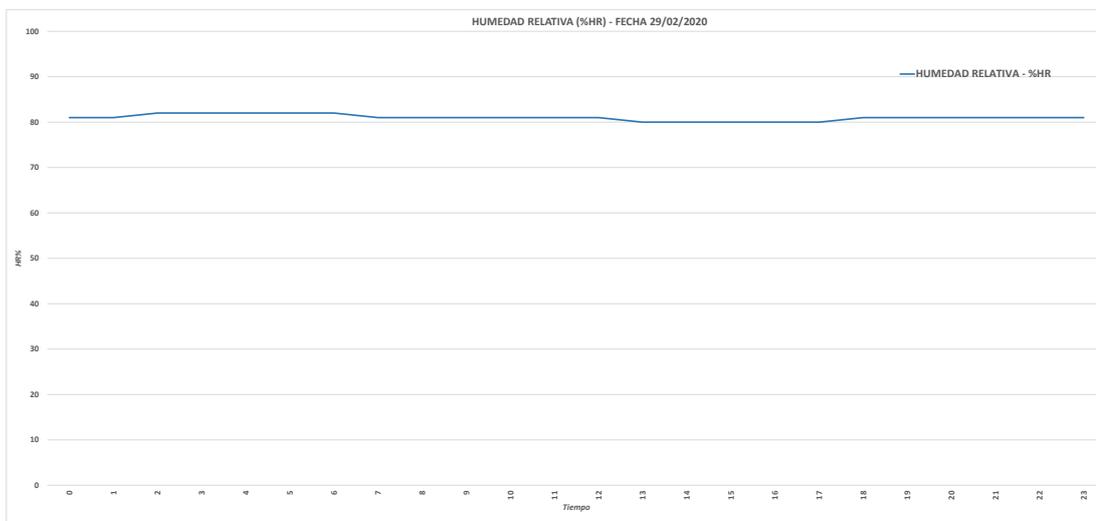
Figura 120. Gráfica de conductividad del suelo - Maduración.  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 121. Gráfica de temperatura ambiental - Maduración.**  
Fuente. Elaboración propia

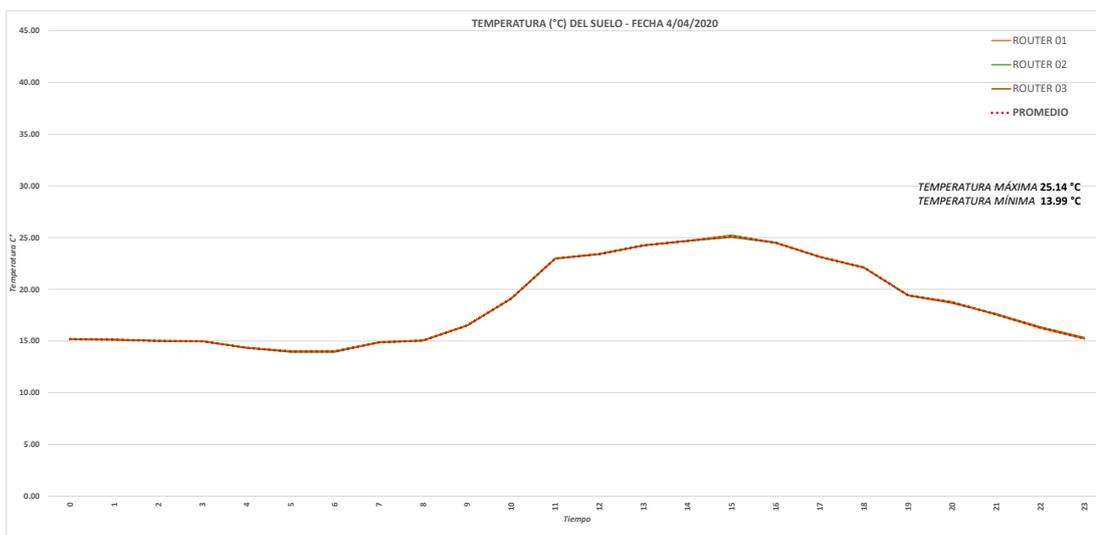


**Figura 122. Gráfica de radiación ultravioleta - Maduración.**  
Fuente. Elaboración propia

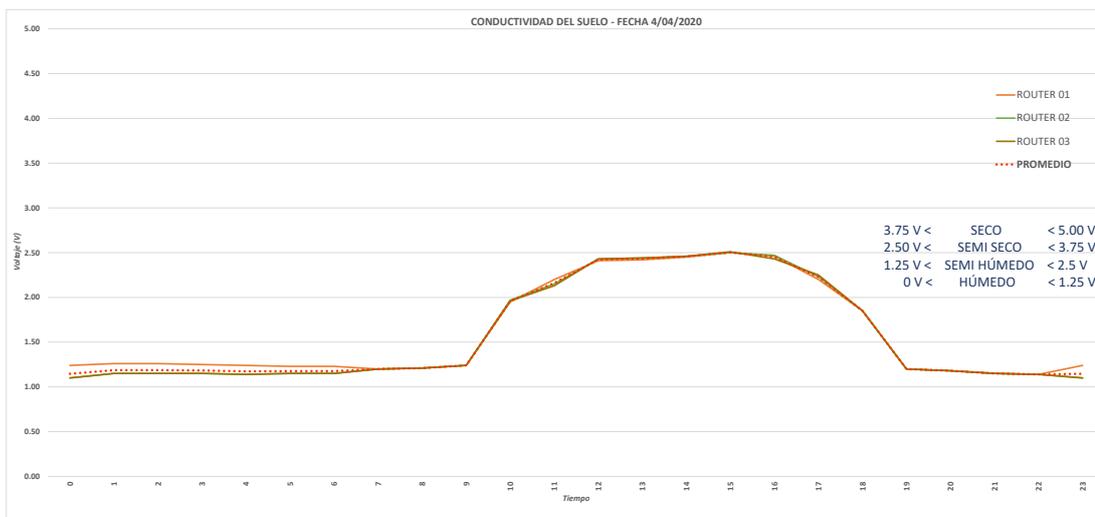


**Figura 123. Gráfica de humedad relativa - Maduración.**  
Fuente. Elaboración propia

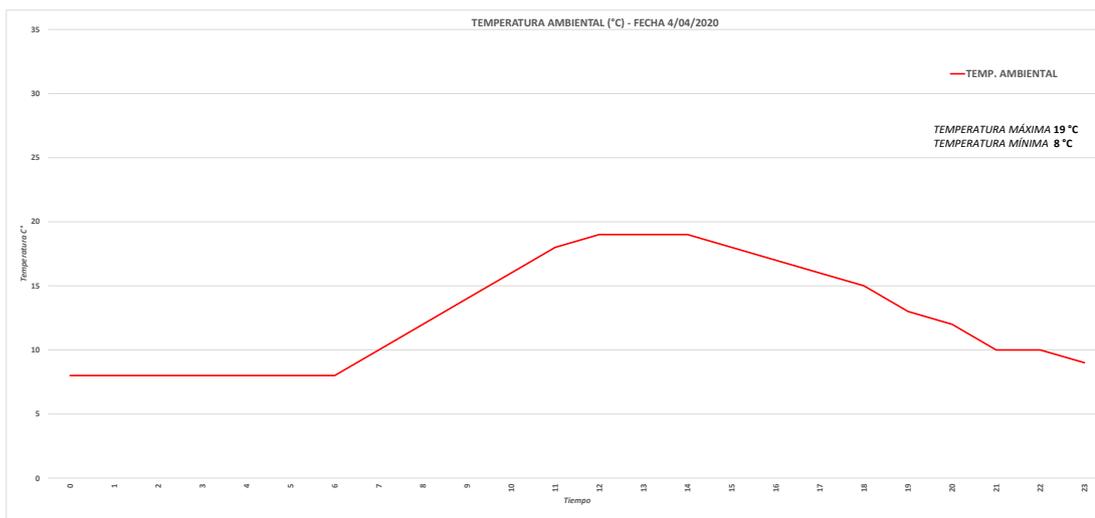
## PERIODO DE COSECHA



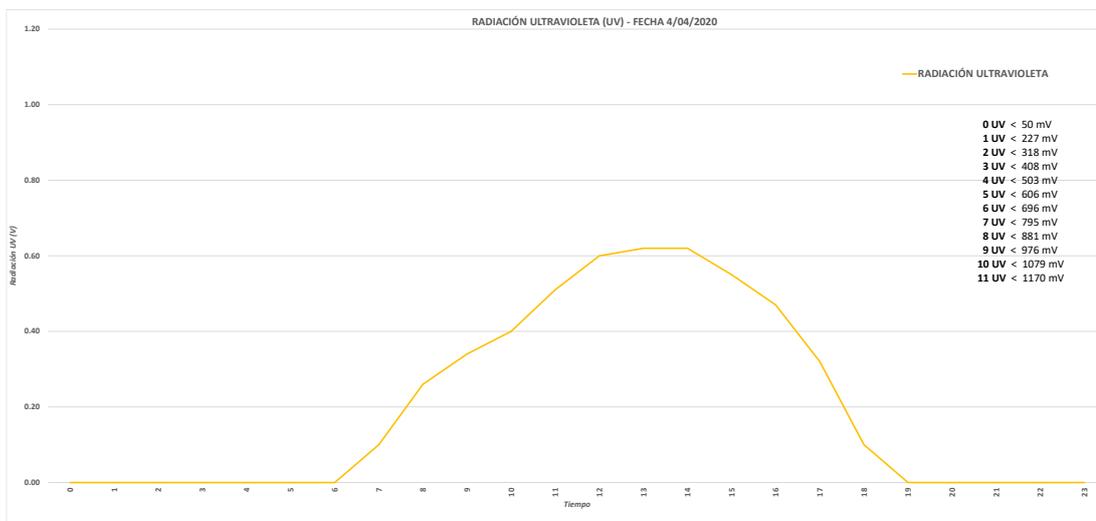
**Figura 124. Gráfica de temperatura del suelo - Cosecha.**  
Fuente. Elaboración propia



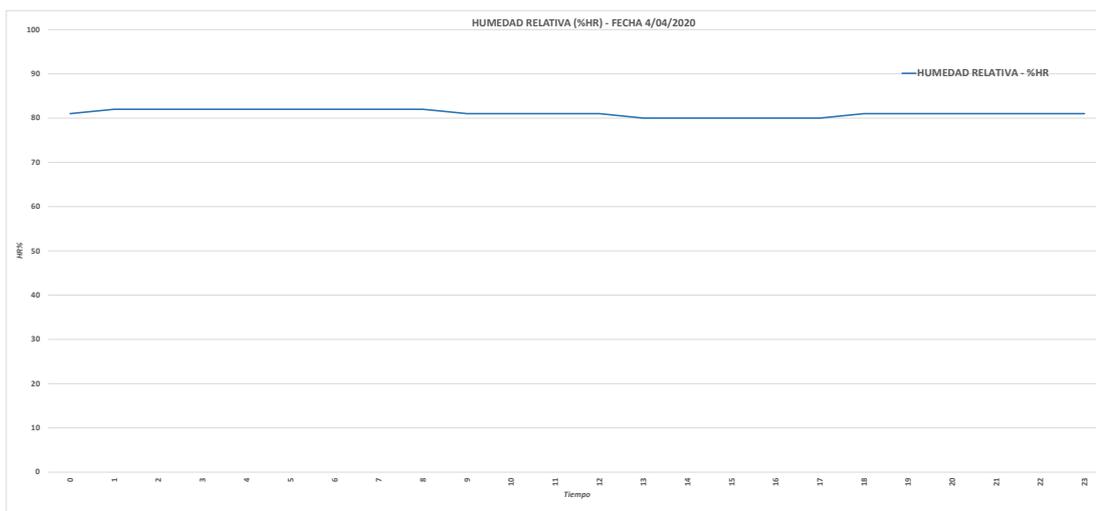
**Figura 125. Gráfica de conductividad del suelo - Cosecha.**  
 Fuente. Elaboración propia



**Figura 126. Gráfica de temperatura ambiental - Cosecha.**  
 Fuente. Elaboración propia

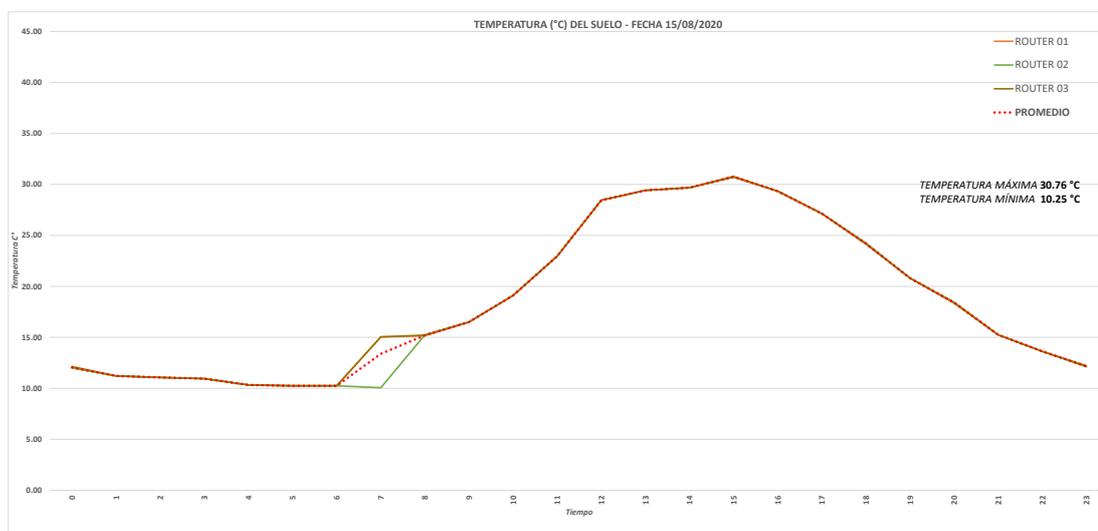


**Figura 127. Gráfica de radiación ultravioleta - Cosecha.**  
*Fuente. Elaboración propia*

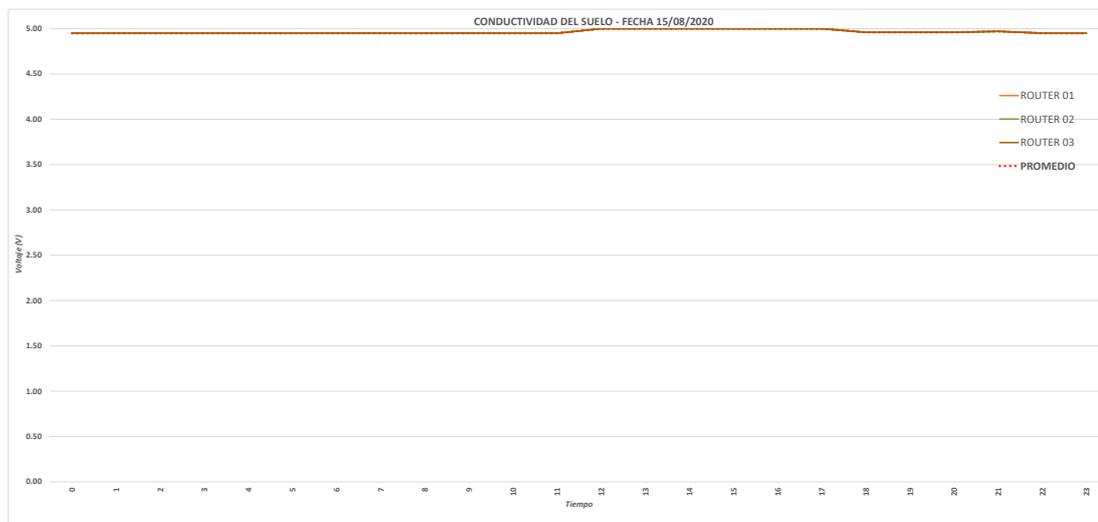


**Figura 128. Gráfica de humedad relativa - Cosecha.**  
*Fuente. Elaboración propia*

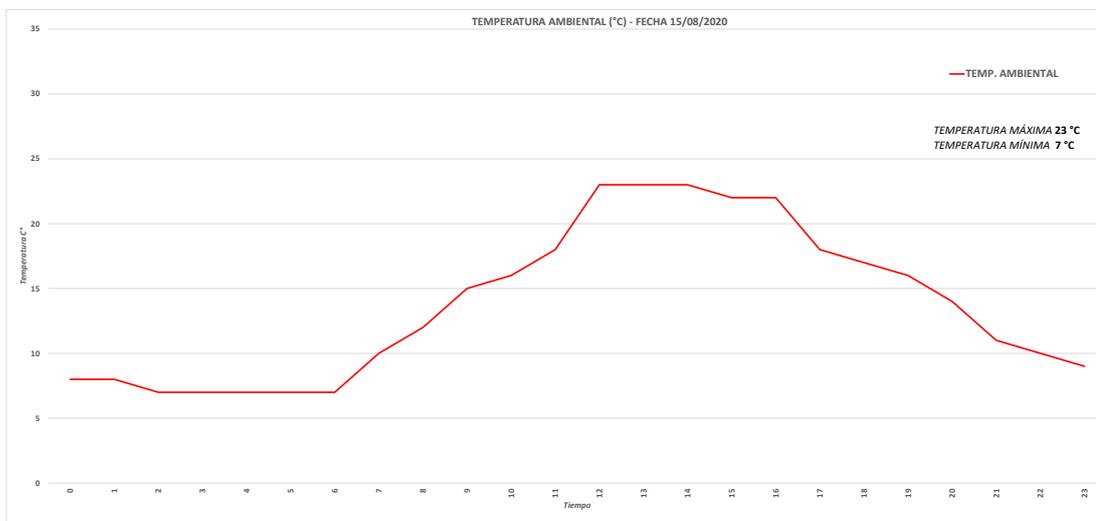
## PERIODO DE HELADA Y SEQUÍA



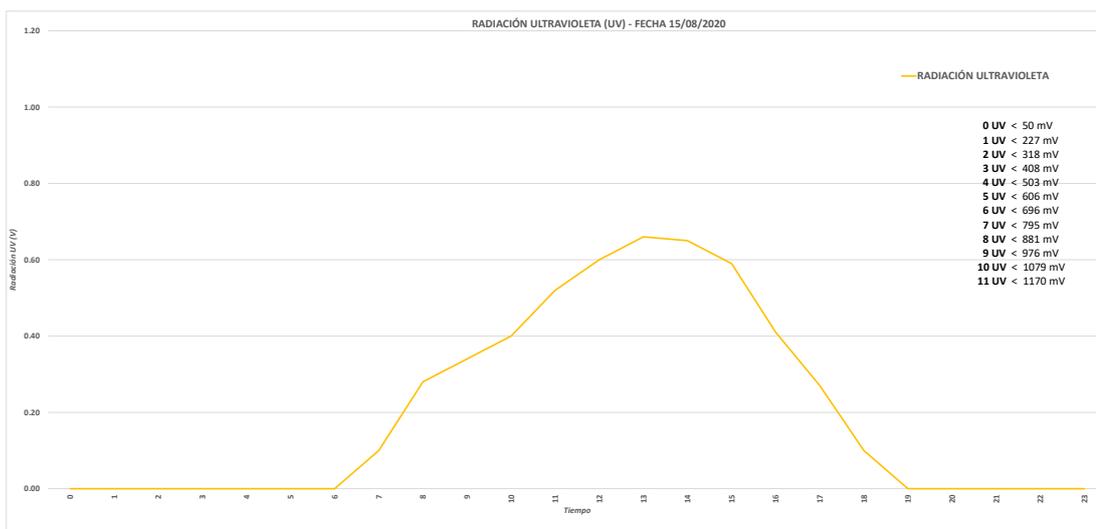
**Figura 129. Gráfica de temperatura del suelo – Helada y Sequía.**  
Fuente. Elaboración propia



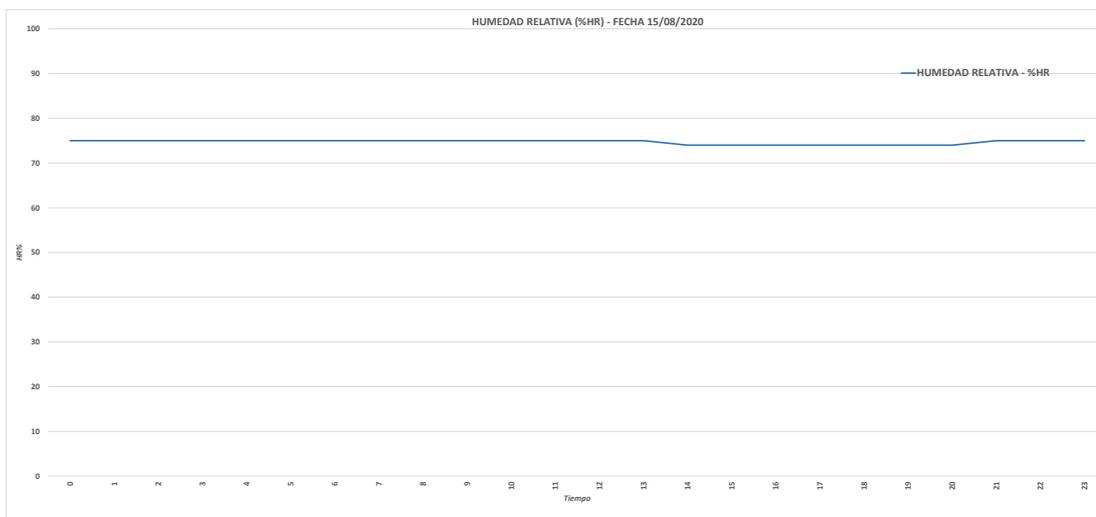
**Figura 130. Gráfica de conductividad del suelo - Helada y Sequía.**  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 131. Gráfica de temperatura ambiental - Helada y Sequía.**  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 132. Gráfica de radiación ultravioleta - Helada y Sequía.**  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 133. Gráfica de humedad relativa - Helada y Sequía.**  
*Fuente. Elaboración propia*

## ANEXO L. MATRIZ DE CONSISTENCIA

*“Evaluación y control del cultivo de maíz, mediante diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores en el distrito de Huayucachi”*

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVOS GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>		<b>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN</b> Cuantitativo
¿Cómo evaluar y controlar el cultivo de maíz, mediante una red Inalámbrica de sensores y actuadores en Huayucachi?	Evaluar y controlar el proceso del cultivo de maíz para mejorar su producción, mediante el diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores en Huayucachi.	El diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores para evaluar y controlar el proceso de cultivo de maíz, mejora su productividad.	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores.	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> Investigación Aplicada.
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECÍFICOS</b>		<b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> Descriptiva, comparativa, explicativa, correlacional, evaluativa y controlable.
PE1. ¿Qué parámetros y dispositivos de evaluación y control del cultivo de maíz se utilizan en el diseño de la red inalámbrica de sensores y actuadores?	OE1. Determinar los parámetros y dispositivos de evaluación y control del proceso de cultivo de maíz para el diseño de una red inalámbrica de sensores y actuadores.	HE1. La identificación de los parámetros y dispositivos de evaluación y control en el proceso de cultivo de maíz, es útil para diseñar la red inalámbrica de sensores y actuadores.		
PE2.¿Cómo diseñar el prototipo de red inalámbrica, utilizando tecnología XBee, para medir parámetros ambientales y de suelo de cultivo de maíz?	OE2. Diseñar el prototipo de una red inalámbrica utilizando tecnología XBee, basado en módulos de sensores y actuadores, para medir parámetros ambientales y de suelo de cultivo de maíz.	HE2. El diseño del prototipo de red inalámbrica que utiliza tecnología XBee, para medir parámetros ambientales y de suelo de cultivo de maíz, es útil para dimensionar el equipamiento de hardware y software.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> Evaluación y control del cultivo de maíz para mejorar su productividad en Huayucachi..	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> Experimental y diseño con Pre prueba - Post Prueba.
PE3. ¿Cómo la implementación del prototipo evalúa y controla las señales captadas por los sensores y actuadores, para obtener indicadores de las condiciones favorables y adversas que afectan el proceso de cultivo de maíz?	OE3.Implementar el prototipo para evaluar y controlar las señales captadas por los sensores y actuadores para obtener las condiciones favorables y adversas que afectan el proceso de cultivo de maíz.	HE3. El prototipo diseñado es implementado para evaluar y controlar las señales captadas por los sensores y actuadores que permiten obtener la información de las condiciones favorables ó adversas en el proceso de cultivo de maíz.		<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b> productores agrarios en el distrito de Huayucachi y la muestra es el terreno evaluado.