



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO Y SEÑALIZACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE QUINUA A CIELO ABIERTO EN
LA HACIENDA LA CANTORA**

AUTOR: ARAUJO CRIOLLO CARLOS GABRIEL

DIECTOR: ING. ORTIZ, HUGO

SANGOLQUÍ

2015



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO Y SEÑALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE QUINUA A CIELO ABIERTO EN LA HACIENDA LA CANTORA” realizado por el señor CARLOS GABRIEL ARAUJO CRIOLLO, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar al señor CARLOS GABRIEL ARAUJO CRIOLLO para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, noviembre de 2015

Ing. Hugo Ortiz

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, CARLOS GABRIEL ARAUJO CRIOLLO, con cédula de identidad N° 1720803202, declaro que este trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO Y SEÑALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE QUINUA A CIELO ABIERTO EN LA HACIENDA LA CANTORA” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 11 de noviembre de 2015

Carlos Gabriel Araujo Criollo

1720803202



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, CARLOS GABRIEL ARAUJO CRIOLLO, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO Y SEÑALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE QUINUA A CIELO ABIERTO EN LA HACIENDA LA CANTORA” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 11 de noviembre de 2015

Carlos Gabriel Araujo Criollo

1720803202

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, a mis hermanos pero principalmente a mis padres que siempre me han apoyado sobre todo brindándome seguridad y su fuerza en cada proyecto e idea que he puesto en marcha.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que me ayudaron durante el desarrollo de este proyecto y me han brindado información de manera desinteresada a Marcos Araujo mi hermano quien me ayudo con su conocimiento como Ing. Agropecuario

A las entidades públicas como el MAGAP quienes me han permitido conocer información sobre los costos de producción de quinua, el INAMHI quien me ayudo con la comprobación y calibración del sensor de humedad y temperatura y el INIAP donde me ayudaron a comprender de mejor manera las actividades agrícolas.

Al señor Diego Calisto quien muy amablemente me ha permitido trabajar en la “Hacienda la Cantora” realizando pruebas y la instalación del prototipo.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. Descripción general del proyecto.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Alcance	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Descripción general	3
2. Marco teórico	4
2.1. Conceptos meteorológicos	4
2.1.1. Temperatura	4
2.1.2. Humedad Relativa.....	5
2.1.3. Punto de rocío	5
2.1.4. Helada	6
2.2. Producción agrícola	6
2.2.1. Ubicación del terreno	6
2.2.2. Presencia de lluvias.....	7
2.2.3. Presencia de malas hierbas.....	7
2.2.4. Condiciones del suelo	7
2.3. Instrumentación electrónica	8
2.3.1. Entradas.....	8
2.3.2. Sensores	9
2.3.3. Conversor A/D	10
2.3.4. Procesamiento de información.....	10
2.3.5. Elementos de transmisión de la información	10
2.3.6. Lógica de tratamiento de las magnitudes medidas.....	11
2.4. Sistemas microcontrolados	11
2.5. Comunicación inalámbrica	12

2.5.4.	Espectro electromagnético	12
2.5.5.	Clasificación	12
2.5.6.	Redes personales inalámbricas (WPAN)	14
3.	Diseño	17
3.1.	Descripción general	17
3.2.	Diseño del módulo remoto	18
3.2.1.	Diseño del subsistema de adquisición de datos.....	18
3.2.2.	Diseño del subsistema de procesamiento de información.....	25
3.2.3.	Funcionamiento del módulo remoto	29
3.2.4.	Diseño del subsistema de señalización visual.....	30
3.2.5.	Funcionamiento de la señalización visual.....	35
3.2.6.	Diseño de subsistema de comunicación.....	36
3.2.7.	Diseño del subsistema de alimentación del módulo remoto	42
3.3.	Diseño del módulo base	46
3.3.1.	Diseño del subsistema de comunicación.....	46
3.3.2.	Diseño del subsistema de procesamiento de información.....	47
3.3.3.	Diseño del subsistema de interfaz de usuario del módulo base	50
3.3.4.	Diseño del subsistema de alimentación del módulo base	54
3.4.	Diseño de la Interfaz Humano Máquina	57
3.5.	Diseño de placas electrónicas	59
4.	Implementación.....	64
4.1.	Módulo remoto.....	64
4.2.	Módulo base.....	71
4.3.	Interfaz Humano Máquina	72
5.	Pruebas y Resultados	74
5.1.	Pruebas.....	74
5.1.1.	Prueba de funcionamiento en un ambiente controlado	74
5.1.2.	Prueba de funcionamiento en un ambiente real	76
5.1.3.	Prueba de distancia de transmisión entre los módulos base y remoto.....	78
5.1.4.	Prueba de autonomía del módulo remoto.....	78
5.2.	Resultados.....	78
5.2.1.	Resultados de funcionamiento en un ambiente simulado.	78
5.2.2.	Resultados de funcionamiento en un ambiente real.....	80
5.2.3.	Resultados de la distancia de transmisión entre los módulos base y remoto.	84
5.2.4.	Resultado de autonomía del módulo remoto.....	84

5.3. Análisis Costo-Beneficio	84
6. Conclusiones y recomendaciones	88
6.1. Conclusiones	88
6.2. Recomendaciones	88
Bibliografía	89
Anexos	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Criterios de evaluación para la selección de sensor de temperatura	19
Tabla 2 Evaluación del criterio de facilidad de uso del sensor de temperatura	20
Tabla 3 Evaluación del criterio de disponibilidad del sensor de temperatura.....	20
Tabla 4 Evaluación del criterio de rango del sensor de temperatura	21
Tabla 5 Evaluación del criterio de tiempo de respuesta del sensor de temperatura.....	21
Tabla 6 Resultados de la evaluación para la selección del sensor de temperatura.....	21
Tabla 7 Criterios de evaluación para el sensor de humedad	22
Tabla 8 Evaluación del criterio de consumo de energía del sensor de humedad	22
Tabla 9 Evaluación del criterio de disponibilidad del sensor de humedad	22
Tabla 10 Evaluación del criterio estabilidad del sensor de humedad	23
Tabla 11 Ponderación para la selección del sensor de humedad.....	23
Tabla 12 Características del sensor DHT22.....	23
Tabla 13 Criterios de evaluación para la selección del subsistema de procesamiento.....	26
Tabla 14 Evaluación del criterio de consumo de energía del subsistema de procesamiento .	26
Tabla 15 Evaluación del criterio de tamaño del subsistema de procesamiento	27
Tabla 16 Evaluación del criterio de compatibilidad del subsistema de procesamiento	27
Tabla 17 Evaluación del criterio de disponibilidad subsistema de procesamiento.....	27
Tabla 18 Selección del elemento para el subsistema de procesamiento	28
Tabla 19 Características de la tarjeta de aprendizaje Arduino Leonardo.....	28
Tabla 20 Criterios de evaluación para la selección del tipo de señalización visual	31
Tabla 21 Evaluación del criterio de consumo de energía de la señalización visual.....	31
Tabla 22 Evaluación del criterio disponibilidad de la señalización visual	31
Tabla 23 Evaluación del criterio compatibilidad de la señalización visual	32
Tabla 24 Selección de la señalización visual por prioridad	32
Tabla 25 Selección de la pantalla de cristal líquido.....	33
Tabla 26 Criterios de evaluación para la selección del protocolo de comunicación.....	38
Tabla 27 Evaluación de consumo de energía del protocolo de comunicación.....	38
Tabla 28 Evaluación de distancia de transmisión del protocolo de comunicación	38
Tabla 29 Evaluación de velocidad de transmisión del protocolo de comunicación.....	39
Tabla 30 Evaluación del criterio costo del protocolo de comunicación	39
Tabla 31 Selección del protocolo de comunicación por prioridad.....	39
Tabla 32 Características del módulo Xbee S2.	40
Tabla 33 Voltajes de funcionamiento	44
Tabla 34 Corrientes de funcionamiento	44
Tabla 35 Criterios de evaluación para la selección del subsistema de procesamiento.....	47
Tabla 36 Evaluación del criterio compatibilidad del subsistema de procesamiento.....	48
Tabla 37 Evaluación del criterio tamaño del subsistema de procesamiento	48
Tabla 38 Evaluación del criterio consumo del subsistema de procesamiento	48
Tabla 39 Evaluación del criterio disponibilidad del subsistema de procesamiento	49
Tabla 40 Selección del dispositivo para el procesamiento de información	49
Tabla 41 Selección de la pantalla de cristal líquida	51
Tabla 42 Criterios de evaluación para la selección del actudor auditivo	51
Tabla 43 Evaluación del criterio consumo de energía de los dispositivos.....	52
Tabla 44 Evaluación del criterio costo de los dispositivos	52
Tabla 45 Evaluación del criterio dificultad de conexión de los dispositivos	52

Tabla 46 Selección del dispositivo para la señal auditiva.....	53
Tabla 47 Voltajes de funcionamiento del módulo base	54
Tabla 48 Corrientes de funcionamiento del módulo base.....	55
Tabla 49 Criterios de evaluación para la selección del subsistema de alimentación	55
Tabla 50 Evaluación del criterio de precio del subsistema de alimentación.....	55
Tabla 51 Evaluación del criterio disponibilidad del subsistema de alimentación.....	56
Tabla 52 Selección de la mejor opción para el subsistema de alimentación.....	56
Tabla 53 Criterios de evaluación para la selección del tipo de software	57
Tabla 54 Evaluación del criterio costo para la selección del tipo de software.....	57
Tabla 55 Evaluación del criterio documentación para la selección del tipo de software.....	58
Tabla 56 Selección del tipo software de desarrollo	58
Tabla 57 Lecturas de humedad sin corrección.....	79
Tabla 58 Lecturas de humedad con corrección.....	79
Tabla 59: Lecturas de temperatura.....	80
Tabla 60 Distancia de transmisión	84
Tabla 61. Resultados de autonomía del módulo remoto	84
Tabla 62: Costos de producción de quinua	85
Tabla 63: Costo de implementación del prototipo	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Funciones del prototipo	3
Figura 2. Espectro electromagnético.....	12
Figura 3. Clasificación de comunicaciones inalámbricas por su alcance.	13
Figura 4. Dispositivo inalámbrico y una estación fija.....	14
Figura 5: Diagrama de bloques general	18
Figura 6: Sensor DHT22.....	25
Figura 7: Conexión del sensor DHT22	25
Figura 8: Tarjeta de aprendizaje Arduino Leonardo.....	28
Figura 9: Diagrama de flujo del funcionamiento del módulo remoto.....	30
Figura 10: Conexión de los pulsadores.....	33
Figura 11: Configuración de pines del LCD 20x4.....	34
Figura 12: Tira LED RGB	34
Figura 13: Conexión de LEDs de la señalización visual.....	35
Figura 14: Diagrama de flujo de la señalización visual	36
Figura 15: Cultivo de quinua de la "Hacienda la Cantora"	37
Figura 16: Módulo Xbee serie 2.	40
Figura 17: Diagrama de conexión del módulo Xbee	41
Figura 18: Diagrama del circuito general del módulo remoto	41
Figura 19: Esquema de conexión de la alimentación por panel solar	43
Figura 20: Panel solar	45
Figura 21: Regulador de carga para paneles solares	46
Figura 22: Diagrama de conexión del módulo Xbee	46
Figura 23: Diagrama de flujo de funcionamiento del módulo base.....	50
Figura 24: Zumbador	53
Figura 25: Diagrama del circuito general del módulo base	54
Figura 26: Transformador de voltaje para el módulo base	56
Figura 27: Diagrama de flujo de la Interfaz Humano Máquina	59
Figura 28: Diagrama de impresión de placa del módulo remoto	60
Figura 29: Pistas de la placa del módulo remoto	61
Figura 30: Diagrama de impresión de placa del teclado para el módulo remoto.....	61
Figura 31: Pistas del teclado del módulo remoto.....	62
Figura 32: Diagrama de impresión de placa del módulo base	62
Figura 33: Pistas del módulo base.....	63
Figura 34: Protección del sensor de humedad y sensor de temperatura.....	64
Figura 35: Protección del sensor de humedad y sensor de temperatura.....	64
Figura 36: Difusor de luz	65
Figura 37: Protector de sensores y difusor de luz.	65
Figura 38: Cajetín plástico.	66
Figura 39: estructura plástica para batería.	66
Figura 40: Estructura plástica dentro del cajetín.....	66
Figura 41: Cajetín con panel de configuración.	67
Figura 42: Panel de configuración.	67
Figura 43: Baquelita de conexión del módulo remoto.	68
Figura 44: vista interior del panel de configuración.	68
Figura 45: Indicador visual rojo.....	69

Figura 46: Indicador visual amarillo.....	69
Figura 47: Indicador visual verde.....	69
Figura 48: Soporte metálico del módulo remoto.....	70
Figura 49: Distancia de los sensores a tierra.....	70
Figura 50: Módulo remoto.....	70
Figura 51: Caja impresa del módulo base.....	71
Figura 52: Módulo base.....	71
Figura 53: Vista interior del módulo base montado.....	72
Figura 54: Interfaz Humano Máquina.....	72
Figura 55: Documento de registro.....	73
Figura 56: Generador de humedad 2500.....	75
Figura 57: Sensor de humedad y sensor patrón.....	75
Figura 58: Equipo de calibración Fluke.....	76
Figura 59: acercamiento del equipo de calibración Fluke.....	76
Figura 60: Estación meteorológica automática Iñaquito.....	77
Figura 61: Instalación en la "Hacienda la Cantora".....	77
Figura 62: Cargador de baterías.....	78
Figura 63: Comparación de temperatura en ambiente real.....	81
Figura 64: Comparación de humedad en ambiente real.....	81
Figura 65: Temperatura ambiente.....	82
Figura 66: Humedad relativa.....	82
Figura 67: Temperatura de punto de rocío.....	83
Figura 68: Temperatura ambiente y temperatura de punto de rocío.....	83

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza un dispositivo electrónico que ayuda a la monitorización del clima, para prevenir el efecto denominado helada, en la plantación de quinua de la “Hacienda la Cantora”. El clima tienen una influencia directa sobre el desarrollo de las plantas, por lo que hoy en día existen muchas herramientas en el mercado que ayudan a medir las variables climáticas que intervienen en este proceso, sin embargo son pocas las herramientas que permitan evaluar varias de ellas en conjunto, una de ellas es la estación meteorológica pero no es común encontrarlas en los campos agrícolas. El fenómeno climático conocido como helada depende de algunas variables concretas que son la temperatura y la humedad relativa. Éste fenómeno afecta a todas las plantaciones, en algunos casos lo hace en mayor medida que en otros, lo que se busca con el proyecto es que se pueda contrarrestar el efecto producido en las plantas por este fenómeno, al generar una alerta temprana o preventiva, de esta manera el agricultor puede tomar las medidas necesarias. El dispositivo constará de dos componentes uno que estará ubicado entre las plantaciones donde se tomará las medidas y otro elemento ubicado en la oficina del agricultor donde se realizará la supervisión. La comunicación entre los dos componentes se hará de forma inalámbrica, además posee un sistema programable de semaforización mediante una baliza, para actividades agrícolas donde el productor puede ingresar los tiempos requeridos. El dispositivo ubicado en el exterior tendrá una autonomía energética mediante un sistema de baterías y un generador solar.

PALABRAS CLAVES:

- **PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**
- **HELADA**
- **MONITOREO CLIMATICO**
- **COMUNICACIÓN INALAMBRICA**
- **INNOVACIÓN AGROPECUARIA**

ABSTRACT

In this project will be make an electronic device that help to supervise the weather, It will be able to help to prevent the climatic event know like frost in fields when cultivate quinoa of the “Hacienda la Cantora”. The weather have a strong influence in the growth of plants that’s why now a day exist a lot of tools that let measure different variables that are present in weather but someone that let measure that variables like a set not much, a tool that let read like a set are a weather station, it is not commonly used by farms, this climatic event know like frost depend of a few variables those are temperature and relative humidity that are present in the field,

This event affect to every plants although some ones are stronger than others, the object of this project is the farmer may combat against the effects that the event produce in the field with an alarm that prevent in case of low temperature or frost. This device will have two elects the first one will be located in the middle of the field this one will take the measures and other element that will be located in the office of farmer that let do the supervision, the communication between the elements will be wireless, it will have a programmable system of beacon whit three colors similar to traffic light it may be used for agriculture activities when farmer can set necessary times for production, the external device will be able to work whit energy autonomy whit solar system and a battery.

KEYWORDS:

- **AGRICULTURAL PRODUCTION**
- **FROST**
- **CLIMATE MONITORING**
- **INALAMBRIC COMUNICATION**
- **AGRICULTURAL INNOVATION**

CAPÍTULO 1

1. Descripción general del proyecto

1.1.Introducción

Dentro de la administración de una hacienda, los resultados se miden por la utilidad que los cultivos y producción dejan al finalizar el año, las herramientas que permitan una menor pérdida económica, una mayor eficiencia en el control de procesos y el mejoramiento del manejo de éstos son bienvenidos ya que permiten evitar pérdidas que son significativas en comparación con el costo que dichas herramientas pueden tener.

Los profesionales quienes manejan hojas de cálculo, agenda, cronogramas de actividades y herramientas que permiten el manejo de manera ordenada normalmente no son quienes realizan las actividades agrícolas sino sus colaboradores.

Las herramientas de carácter tecnológico no se encuentran normalmente en esta área en nuestro país debido a varios factores tanto culturales como económicos.

La tecnología ayuda de muchas maneras en todo tipo de industrias por lo que se busca adaptar estas herramientas a nuestra realidad social con un prototipo que ayude a quienes realizan estos procesos, permitiendo un manejo adecuado de los cultivos y la producción de forma sencilla, mediante algún tipo de señalización que sea simple de entender.

1.2.Alcance

Se realizará un prototipo electrónico que permita adquirir datos de temperatura y humedad para conocer las condiciones climáticas de una plantación de quinua en la “Hacienda la Cantora”, el prototipo constará de dos módulos: uno de base y otro remoto.

El módulo remoto será el encargado de realizar la adquisición de datos sobre temperatura y humedad, mediante un sistema de instrumentación y un microcontrolador que permita manejar la información ofrecida por los sensores, además brindará una señalización visual para tiempos de producción definidos por el agricultor que se realizará mediante iluminación LED como una baliza que cambiará

de colores establecidos, en periodos de tiempo definidos previamente, por lo que deberá ser programable mediante una interfaz de usuario sencilla y accesible para cualquier operador.

Debido a que el módulo será instalado en el lugar que el agricultor crea conveniente, pudiendo ser en lugares muy distantes y sin provisión de energía eléctrica, debe contar con un sistema de alimentación de energía que le permita ser independiente; se ha pensado usar un sistema de celdas solares y baterías recargables.

Toda la información obtenida será enviada al módulo base mediante un sistema de radiofrecuencia.

El módulo base no podrá ser modificado por el operador, este estará encargado de recibir la información enviada desde el módulo remoto por el sistema de comunicación por radiofrecuencia y procesará dicha información para presentarla al operador por medio de una pantalla LCD; esta información también podrá ser almacenada en un computador con la ayuda de una interfaz HMI que permita guardar registros históricos, además el módulo base poseerá señalización auditiva para alertar al operador de que existe temperaturas muy bajas como un posible riesgo de helada, de esta manera puede tomar acciones preventivas para evitar que los cultivos sufran daños.

1.3.Objetivos

General

- Diseñar e implementar un prototipo electrónico para el monitoreo y señalización en la producción agrícola para plantaciones a cielo abierto de quinua en la “Hacienda la Cantora”.

Específicos

- Disminuir las pérdidas de producción agrícola debido a la presencia de heladas.
- Optimizar los ciclos de producción de quinua en base al análisis de los registros históricos obtenidos con el prototipo.
- Mejorar la gestión del proceso productivo de quinua en base a la señalización.

- Promover el uso de la tecnología en el campo agrícola.
- Maximizar las utilidades de la “Hacienda la Cantora” mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas.

1.4.Descripción general

El proyecto planteado busca ayudar a dejar de lado la producción tradicional generando innovaciones tecnológicas que permitan lograr una mejor productividad en los cultivos, mejorar los rendimientos, aprovechar los recursos y generar mayores ganancias.

Con un país que posee muchas áreas destinadas a la producción agrícola este proyecto impulsa a que la automatización empiece a tomar fuerza en esta área en el Ecuador.

Se podría dividir el proyecto en dos funciones específicas como se ve en la figura 1, la primera es un sistema de monitoreo de factores climáticos mediante la adquisición de datos de los sensores, esta información que podrían generar pérdidas significativas en el cultivo se muestra al agricultor y el segundo es un sistema de señalización programable de forma manual, para ayudar al agricultor a controlar los tiempos de producción que requiera.

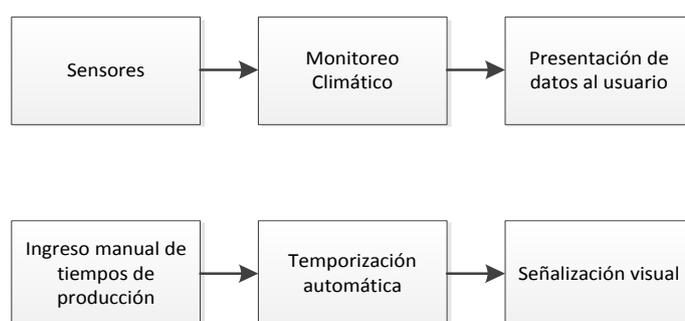


Figura 1: Funciones del prototipo

A continuación se presentarán de manera general los conocimientos básicos sobre producción agrícola, conceptos meteorológicos que inciden en la agricultura, comunicaciones inalámbricas y circuitos microcontrolados que serán necesarios para el diseño y la implementación del prototipo electrónico.

También será importante analizar los resultados del proyecto para poder determinar la utilidad de un dispositivo con estas características.

CAPÍTULO 2

2. Marco teórico

2.1. Conceptos meteorológicos

Muchos fenómenos físicos están relacionados con lo que se conoce como clima, existen estudios que están enfocados en este tema para poder realizar predicciones a corto o mediano plazo. Para la realización de este proyecto es necesario conocer algunos conceptos meteorológicos que estarán involucrados directamente los cuales se mencionaran a continuación.

2.1.1. Temperatura

“Es la magnitud física que expresa el grado o nivel de calor entre los cuerpos o el ambiente. La temperatura ambiente es el valor ordinario en torno a un cuerpo”. [1] (Real Academia de la Lengua)

El sistema internacional de medidas establece que la unidad de medida de la temperatura es el kelvin con el símbolo K, sin embargo también son utilizados los grados Celsius que es un valor equivalente al kelvin, en función de la temperatura de referencia con respecto al punto de congelación del agua, cero grados Celsius.

$$(0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}).$$

Esta variable nos es muy familiar debido a que es un factor perceptible para el ser humano, donde interviene el sentido del tacto, la medición de esta variable es muy común en las actividades cotidianas; la temperatura es muy importante en las actividades agrarias ya que incide directamente en el desarrollo de plantas.

La temperatura adecuada para el desarrollo de la quinua es de entre 15°C y 20°C, sin embargo soporta valores fuera de este rango, teniendo como registro que a 25°C como temperaturas altas a las que se desarrolla normalmente y soporta hasta temperaturas menores a 8°C en ciertas etapas de crecimiento de la planta, pero siendo mayormente susceptible a daños en las etapas de floración y llenado de grano a dichas temperaturas bajas.

2.1.2. Humedad Relativa

La relación entre la masa de vapor de agua contenido en una unidad de volumen de aire y la masa de vapor de agua que sería necesario para saturar este volumen, a la misma temperatura, es lo que se conoce como humedad relativa.

La quinua se desarrolla con normalidad con valores de humedad desde 40% en las zonas altas hasta un 100% en la región costa.

2.1.3. Punto de rocío

La evapotranspiración es la transformación de la humedad, contenida por las plantas, de estado líquido a estado gaseoso que fluye hacia la atmosfera donde dicha humedad aparece debido a la transpiración de la vegetación por el aumento de temperatura. El proceso inverso, dónde, el vapor de agua de la atmosfera cambia a estado líquido se conoce como condensación.

La temperatura que produce el 100% de condensación en el aire se denomina Punto de rocío.

La ecuación 1.1, permite calcular la temperatura del punto de rocío expresado en función de la humedad relativa y la temperatura del aire.

$$T_{pr} = \frac{237,3 \times \left(\left(\frac{\ln \frac{RH}{100}}{17,27} \right) + \frac{T}{237,3+T} \right)}{1 - \left(\left(\frac{\ln \frac{RH}{100}}{17,27} \right) + \frac{T}{237,3+T} \right)} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Dónde:

T_{pr} = Temperatura de punto de rocío, [°C]

RH= Humedad relativa, [%]

T= Temperatura del aire, [°C]

(Martínez Barrera, Ibacache Gonzáles , & Rojas Parra, 2007)

2.1.4. Helada

La expresión “va a caer una helada” es normalmente usada en el campo refiriéndose a que las bajas temperaturas podrían causar daños en los cultivos, fisiológicamente este fenómeno es la ruptura de las paredes celulares de la planta, dando como resultado la destrucción del producto o semilla.

Cuando la temperatura del aire desciende en condiciones normales, quiere decir que la temperatura del punto de rocío es más alta que la del aire, se produce un cambio de estado de la materia, donde el vapor de agua presente en el ambiente se condensa sobre las hojas y el suelo formando rocío; sí la temperatura continúa descendiendo el rocío se congelará formando escarcha, este cambio de estados genera liberación de energía la cual es transferida a los cultivos debido a que existe un contacto directo entre el las moléculas de agua y las plantas, suficiente energía para que no exista un daño en las células de estas.

Para que una helada se produzca, la temperatura del punto de rocío debe ser más baja que la temperatura del aire cuando esta alcanza valores inferiores a 0°C, que es la temperatura de congelación del agua.

2.2. Producción agrícola

La producción agrícola es una materia muy compleja, por lo que en los siguientes puntos se busca mostrar de forma clara y concisa los elementos básicos para la comprensión de este proyecto.

2.2.1. Ubicación del terreno

Existen dos condiciones para la siembra de quinua dependiendo de la altura a la que está ubicado el terreno.

A alturas mayores a 3000 m.s.n.m., se recomienda preparar el terreno en los meses de agosto y septiembre y sembrar entre octubre y noviembre, de esta manera se reduce el riesgo de daño por heladas ya que a esta altura la planta se desarrolla más lentamente, y el estado de floración de la quinua se presentará después del invierno.

Para cultivos que se encuentran en alturas menores a los 3000 m.s.n.m. la preparación del terreno se recomienda hacer en los meses de octubre y noviembre y sembrar en los meses de noviembre y diciembre.

2.2.2. Presencia de lluvias

Es muy importante tener en cuenta este factor para el correcto desarrollo de los sembríos, para obtener una buena germinación de la semilla se requiere de una humedad constante y abundante en el terreno por lo que se siembra apenas empieza la temporada de lluvias.

La quinua requiere de una precipitación media entre 400 a 1000 mm. Durante su estado vegetativo, la planta no resiste el encharcamiento por lo que es importante que el terreno permita la fluidez de agua.

2.2.3. Presencia de malas hierbas

Existen muchas plantas consideradas como maleza o malas hierbas las cuales perjudican el crecimiento de los cultivos, es por eso que para evitar la presencia de éstas se realiza el arado de los terrenos.

Para la siembra de quinua se recomienda realizar este trabajo en los meses de julio y agosto para removerlas y en caso de que existan semillas éstas se sequen debido al sol.

El deshierbo es una buena práctica agrícola que consiste en sacar todas las plantas que no pertenecen al cultivo de quinua y generalmente se realiza de forma manual durante las primeras etapas de crecimiento de la planta.

2.2.4. Condiciones del suelo

Es común que en el campo se realicen rotación de cultivos para que el suelo se renueve debido a que muchas veces se utiliza pesticidas y otros elementos para el mejoramiento de las plantaciones.

En el caso concreto de la “Hacienda La Cantora”, los suelos fueron utilizados en potreros donde se sembró Ray grass, trébol blanco, pasto azul y llantén forrajero para ganado vacuno de producción lechera.

Es recomendable pasar un arado de disco y luego la rastra 30 días antes de realizar la siembra; es importante también tomar en cuenta el tipo de suelo ya que si es de tipo arcilloso este tiende a formar bloques o terrones los cuales deberán ser desintegrados.

2.3.Instrumentación electrónica

Dentro la instrumentación electrónica se consideran los elementos que intervienen en un sistema de adquisición de datos, este sistema es el que permite interpretar lo que está ocurriendo en el mundo real mediante la medida de magnitudes físicas y la relación entre el mundo artificial o digital.

Es importante definir algunos parámetros del sistema como los siguientes:

- Numero de magnitudes físicas a medir.
- Velocidad de cambio de dichas magnitudes.
- Precisión de las medidas.
- Finalidad del sistema.

El sistema de adquisición de datos consta de varios elementos algunos de los cuales se describirán a continuación.

2.3.1. Entradas

Dentro del sistema de adquisición de datos las entradas son los sensores o transductores del sistema que son los que permiten obtener la información de todas las variables físicas requeridas.

Transductor es un dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

Sensor es un dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

Estas entradas pueden ser digitales o analógicas, en el caso de las entradas analógicas es necesario un acondicionamiento de la señal para que esta pueda ser interpretada.

2.3.2. Sensores

Los sensores necesarios para el proyecto están directamente relacionados con las variables a medir, por lo que se presenta a continuación diferentes tipos de sensores de temperatura y humedad.

a) Termocuplas

Son sensores de temperatura muy utilizados en la industria, una termocupla está elaborada de dos metales de diferente material unidos en un punto, al existir un cambio de temperatura en la unión de los metales se genera una reacción eléctrica entre los mismos, esta reacción eléctrica es muy pequeña pudiendo ser medida en el orden de los milivoltios, a mayor temperatura mayor será el voltaje generado.

b) Termistores

Un termistor es básicamente un semiconductor el cual permite el flujo de corriente, dicho flujo variará dependiendo de la temperatura a la que esté sometido el termistor, por este motivo se puede medir la variación de resistencia que presenta el semiconductor.

Su principal característica es que poseen una alta sensibilidad y se las encuentra en el mercado mediante la denominación de coeficiente positivo de temperatura PTC o coeficiente negativo de temperatura NTC, por sus siglas en ingles.

c) Termómetros infrarrojos

Pueden medir la temperatura de un objeto sin tener que estar en contacto directo con este, determinan la temperatura de la superficie de un objeto, se usa para aplicaciones especiales cuando el objeto es muy pequeño o posee temperaturas muy elevadas.

d) Termo resistencias

Su funcionamiento se basa en una variación en la resistencia que presenta un material en función de la temperatura, al darse esta variación se puede interpretar el cambio mediante cambios de voltaje o de corriente en un circuito de instrumentación, se denominan RTD.

Son muy utilizadas el área industrial debido a que poseen un gran rango de medición de temperatura, su presentación más común es una vaina metálica dentro de la cual se encuentra la termoresistencia.

e) Sensor capacitivo de humedad

Están diseñados generalmente con placas paralelas de electrodos porosos, el material dieléctrico absorbe o evapora agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad, como resultado se obtiene una variación en la capacitancia eléctrica del dispositivo

f) Sensor resistivo de humedad

Se encuentra construido de un sustrato cerámico aislante y una rejilla de electrodos, los electrodos son cubiertos con una sal sensible al cambio de humedad de esta forma la impedancia variará dependiendo en función de la humedad del ambiente, este tipo de sensores son inmunes a la contaminación superficial para la exactitud de la medida aunque esto afecta en el tiempo de respuesta del sensor.

2.3.3. Conversor A/D

Un conversor analógico digital (A/D) permite que la información de un sensor analógico, después de haber sido acondicionada, pueda ser procesada de manera digital, normalmente este tipo de conversores están integrados en los micro controladores.

2.3.4. Procesamiento de información

En un sistema de adquisición de datos existe por lo menos un microcontrolador que será el encargado de tomar la información de las entradas y realizar los cálculos, condiciones o procesos que sean necesarios para realizar una acción mediante las salidas.

2.3.5. Elementos de transmisión de la información

Estos serán los elementos que definan las diferentes formas y protocolos para transmitir la información, como ejemplo se puede mencionar la transmisión con un protocolo serial y en el caso de este proyecto la transmisión de forma inalámbrica.

2.3.6. Lógica de tratamiento de las magnitudes medidas

Este elemento hace referencia concretamente al software que se encuentra en un sistema de adquisición de datos.

La lógica de tratamiento dependerá completamente de la función que cumple un sistema.

2.4. Sistemas microcontrolados

Un microcontrolador es un computador con características muy bajas como la capacidad y velocidad de procesamiento, sin embargo posee puertos de entrada y de salida, memoria interna, microprocesador, temporizador, etc. Todo aquello permite que se pueda hacer con él un sistema funcional y completo de forma compacta.

Es de gran importancia determinar las funciones y características del sistema a desarrollar para realizar una selección de microcontrolador acorde a las necesidades que se tenga, por lo que los aspectos a tener en cuenta son:

- Tipo de memoria no volátil.
- Capacidad de memoria volátil.
- Número de puertos de entrada y salida y su programabilidad.
- Conversores Digital/Análogo y Análogo/Digital en esto se deberá también tener en cuenta la cantidad, resolución, frecuencia de muestreo y en general sus características técnicas.
- Temporizadores y contadores
- Salidas PWM
- Comunicación con otros sistemas externos.
- Controladores de interrupciones
- Set de instrucciones
- Capacidad de cálculo.
- Herramientas de desarrollo

Todas estas características, más la función concreta para la que se utilizará el microcontrolador, permitirá decidir frente a un mercado con varios fabricantes y cada uno de ellos con una amplia gama de dispositivos.

2.5. Comunicación inalámbrica

2.5.4. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es el rango de frecuencias de ondas electromagnéticas ordenadas según su longitud de onda y su frecuencia, que se encuentran en el espacio libre, dicho espectro se puede ver en la figura 2.

La forma de radiación electromagnética más conocida o familiar es la luz visible la cual tiene una frecuencia de 500.000GHz.

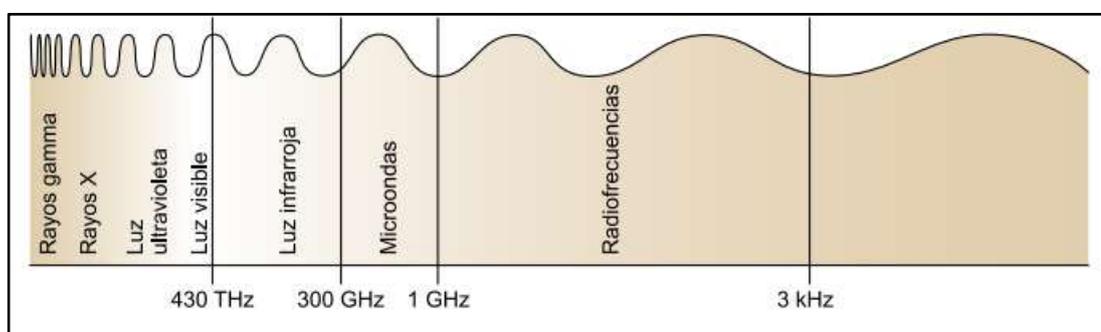


Figura 2. Espectro electromagnético

Fuente: (Blázquez, 2015)

Los rangos de frecuencias más utilizados para las comunicaciones inalámbricas son las radiofrecuencias, microondas y la luz infrarroja. También existen otras frecuencias en el espectro como la luz ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma que podrían presentar mejores resultados que las anteriores debido a su alta frecuencia pero podrían llegar a ser peligrosas para los seres vivos por los que no son utilizadas.

2.5.5. Clasificación

Las comunicaciones inalámbricas se pueden clasificar de diferentes maneras, la que se utilizará es la clasificación por su alcance.

Según esta clasificación se tiene tres grandes grupos:

- Redes de área local personal (WPAN por sus siglas en inglés).
- Redes de área local inalámbrica (WLAN por sus siglas en inglés).

- Redes de área local extendida inalámbrica (WWAN por sus siglas en inglés)

Teniendo en la figura 3 una breve explicación de forma gráfica sobre estas comunicaciones.

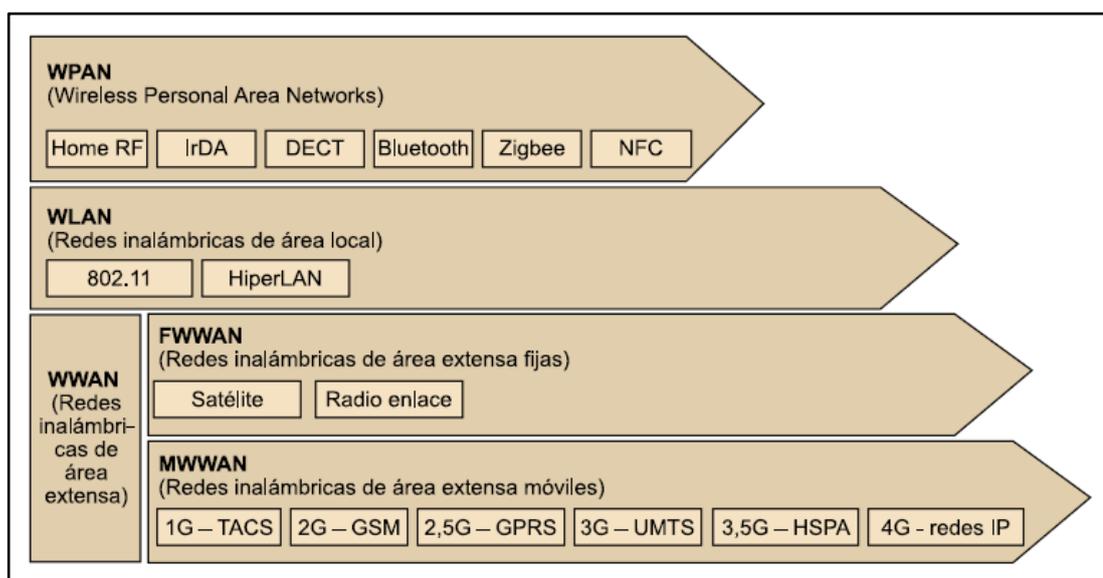


Figura 3. Clasificación de comunicaciones inalámbricas por su alcance.

Fuente: (Blázquez, 2015)

Las redes de gran alcance inalámbricas permiten la conexión de red y usuarios geográficamente distantes, se clasifican en dos tipos:

- Redes de alcance de área personal inalámbrica WWAN (por sus siglas en inglés) fijas las cuales utilizan radioenlaces o satélite como, un ejemplo puede ser la transmisión de eventos deportivos vía satélite.
- Redes de área extendida inalámbrica WWAN (por sus siglas en inglés) móviles en este caso se utilizan a través de compañías o servicios públicos de transmisión y recepción, como por ejemplo la telefonía móvil.

Debido a que para el presente proyecto no se requiere transmitir a distancias tan grandes no se profundizará en esta clase de comunicaciones inalámbricas.

2.5.6. Redes personales inalámbricas (WPAN)

Las redes personales inalámbricas presentan una limitación muy importante de distancia ya que generalmente los dispositivos deben estar muy poco separados.

a) Bluetooth

Es una especificación regulada por la IEEE 802.15.1, esta comunicación permite la transmisión de información de voz y datos entre diferentes dispositivos electrónicos, como computadores, asistentes digitales (PDA), teléfonos móviles, etc., trabaja en la banda ISM de 2,4 GHz.

Presenta una velocidad de transmisión dependiendo del tipo de tecnología, la versión 3.0 soporta hasta 300Mbps.

La distancia para la comunicación entre dispositivos es de alcance corto, alrededor de 10m.

b) DECT

La tecnología *digital enhanced cordless telecommunication* (DECT) aparece como un complemento a las comunicaciones analógicas de telefonía, posteriormente pasa a ser una comunicación inalámbrica digital.

Se define como la comunicación por radioenlace entre dispositivos inalámbricos y estaciones fijas como se muestra en la figura 4.

Opera en la banda de frecuencias de 1880 a 1900 MHz. Con una velocidad de transmisión de 2 Mbps.



Figura 4. Dispositivo inalámbrico y una estación fija.

Fuente: (Blázquez, 2015)

c) IrDA

La *Infrared Data Association* (IrDA) es integrada por más de ciento sesenta compañías. El estándar IrDA es para transmisión de información mediante el espectro de frecuencia de infrarrojo.

Los dispositivos que utilizan este tipo de comunicación lo realizan mediante el uso de diodos LED, es necesario que exista una línea de vista directa entre el emisor y el receptor con un ángulo de desviación máximo de 30°.

d) NFC

La tecnología de *near field communication* (NFC) es una extensión del estándar ISO/IEC-14443 para tarjetas de proximidad o comunicación RFID, permite la transmisión de forma sencilla entre dos dispositivos utilizando la banda de 13,56 MHz.

Es una tecnología que requiere de una distancia no mayor a 20 cm. Entre los dispositivos de comunicación por lo que es considerada como una comunicación muy segura ya que prácticamente los dispositivos deben estar en contacto.

A pesar de que esta tecnología permite transmitir datos está mayormente pensada para ser usada con dispositivos que posean capacidad de cálculo, como teléfonos móviles, y no para la transferencia masiva de información.

e) Zigbee

Este estándar está promovido por una comunidad de compañías como Motorola, Philips, Honeywell, entre otras, está regulado por el grupo de trabajo IEE802.15.4.

Es una red inalámbrica que permite monitorizar y tener capacidad de control sobre la red, las principales características son:

Está pensada para que sea de bajo consumo y con un bajo costo de procesamiento

Posee velocidades bajas en comparación con tecnologías pero en compensación alcanza distancias mayores. La marca Xbee comercializa módulos alcanzan una distancia máxima de comunicación cercana a 100m con línea de vista en la serie S2.

Permite la conexión de grandes cantidades de nodos (sobre los 100 nodos).

Se puede establecer topologías tipo malla lo que ayuda a aumentar el rango de alcance de comunicación al colocar nodos intermedios.

Opera en las bandas libres de 2.4 GHz con una velocidad de transmisión de 20 Kbps a 250 Kbps con un rango de 10 a 75m.

Redes locales inalámbricas (WLAN)

Las WLAN son redes de cobertura geográfica limitada que reemplazan a las redes LAN con cables, una de sus más grandes ventajas es la comodidad que ofrecen al usuario y que permite acceder a la red desde lugares que serían muy complicados mediante una red cableada.

a) IEE 802.11

Esta familia de estándares garantiza una interoperabilidad entre diferentes fabricantes, trabaja entre los 2.4 GHz y los 5 GHz con velocidades de hasta 600Mbps, las características dependerán de la especificación a la que corresponda donde se tienen las siguientes:

- IEE 802.11.a
- IEE 802.11.b
- IEE 802.11.g
- IEE 802.11.i
- IEE 802.11.n

b) HiperRLAN

El *high performance radio local area network* fue desarrollado por el ETSI (European Telecommunications Standard Institute) como un estándar.

Inicialmente permitía una velocidad de hasta 20 Mbps pero su evolución Hiperlan2 permite una transferencia de hasta 54Mbps, estos estándares trabajan en la banda de 5 GHz.

CAPÍTULO 3

3. Diseño

El sistema completo consiste en un dispositivo electrónico que permita realizar el monitoreo de variables climáticas importantes para el cultivo de quinua, estas variables son temperatura ambiente y humedad relativa, en este capítulo se establecerá como se realizará el dispositivo.

Es necesario realizar un diseño para cada uno de los módulos, tanto el módulo remoto como el módulo base tendrán características diferentes el uno del otro, se debe partir de las necesidades de cada uno de ellos, de esta manera se evaluará los sensores y actuadores que se necesita en cada uno.

3.1. Descripción general

El prototipo de forma general consiste de dos elementos, un módulo transmisor o remoto y un módulo receptor o base, dentro de cada módulo se definirán varios subsistemas que permiten el funcionamiento de cada uno de ellos, como se observa en la figura 5.

Cada módulo cuenta con un subsistema de alimentación encargado de proveer energía eléctrica, para el módulo remoto se necesitara un sistema independiente de la red eléctrica debido a que éste estará ubicado en medio de la plantación de quinua.

El módulo remoto tendrá como entrada el subsistema de adquisición de datos en donde se realizará la lectura de los sensores y también el panel de usuario el cual permitirá definir características de funcionamiento de este módulo, como resultado para el usuario se tiene una señalización visual y la transmisión de datos al receptor.

El módulo base tiene como entrada la recepción de datos enviados por el módulo remoto, esta información es usada en el subsistema de procesamiento, en donde se establecerá la acción a realizar por las salidas que son: el subsistema de alarma por estado crítico, la comunicación con el HMI (Interfaz Humano Máquina) y el panel de información para el usuario.

En la figura 5 se muestra un diagrama de bloques lo expuesto anteriormente.

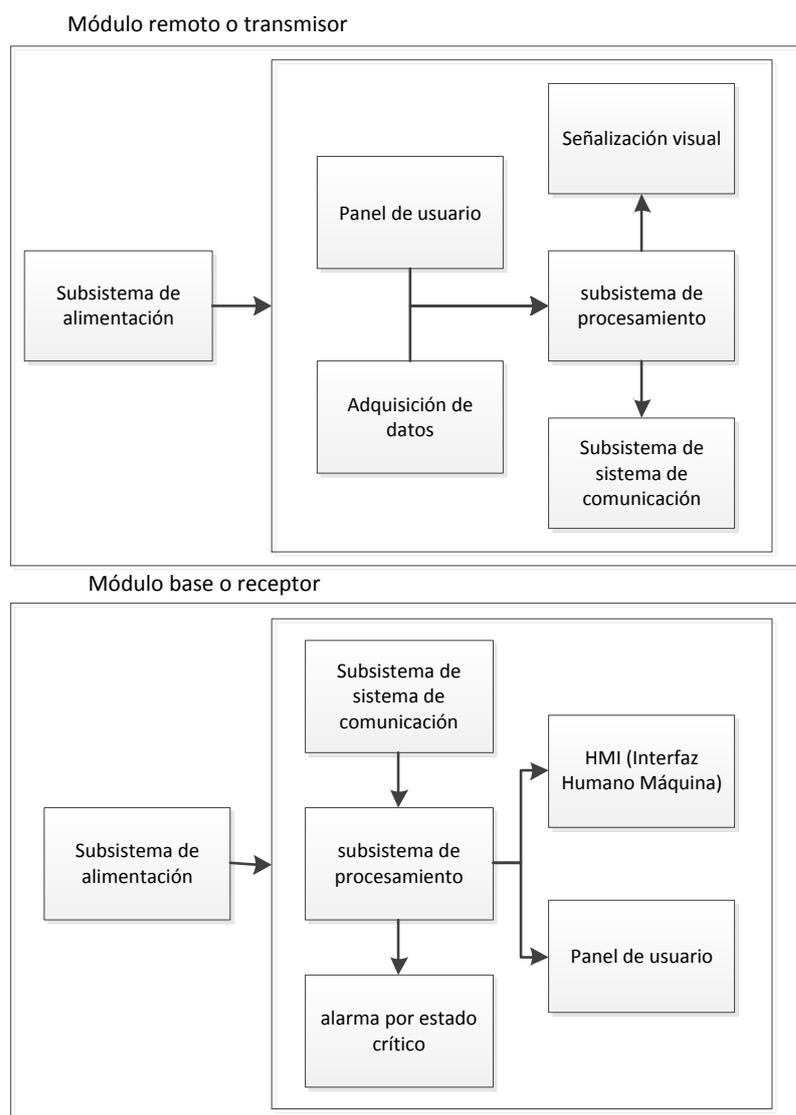


Figura 5: Diagrama de bloques general

3.2. Diseño del módulo remoto

3.2.1. Diseño del subsistema de adquisición de datos

Para realizar la adquisición de datos se debe considerar cuáles serán las variables a medir, una vez decididas las variables se seleccionan los sensores que se utilizará, se debe considerar cuál es el tipo de aplicación y el principio de funcionamiento del sensor.

Para el presente proyecto se medirá la temperatura ambiente y humedad relativa en base a estos dos parámetros se obtendrá el valor de temperatura de punto de rocío.

Se realizará la medición de las variables ambientales por lo que no se requiere una protección hermética, pero si debe proteger los instrumentos de factores como la lluvia y el polvo en cierta medida ya que estos pueden crear daños en los sensores o generar mediciones erróneas.

Para seleccionar el tipo de sensor a utilizar se realizará una comparación en base a criterios que serán:

Consumo.- este criterio hace referencia al consumo de energía que requiere el sensor teniendo en cuenta si requiere de un circuito de instrumentación o un circuito de amplificación.

Estabilidad.- La estabilidad que tiene cada uno de los sensores y su respuesta ante pequeños cambios de temperatura.

Disponibilidad.- Se verá la disponibilidad en el mercado de cada uno de estos sensores siendo este criterio el de mayor peso.

Tiempo de respuesta.- la velocidad con la que el sensor detecta un cambio de temperatura.

Tabla 1
Criterios de evaluación para la selección de sensor de temperatura

Criterio	Disponi- bilidad	Estabi- lidad	Consumo	Tiempo de respuesta	$\Sigma+1$	Ponderación
Disponi- bilidad	-	1	1	1	4	0,40
Estabilidad	0	-	1	1	3	0,30
Consumo	0	0	-	1	2	0,20
Tiempo de respuesta	0	0	0	-	1	0,10
		Suma			10	1,00

Para el funcionamiento del dispositivo se debe tener en cuenta el ambiente en el que se realizarán las mediciones.

El lugar donde se instalará el prototipo es Machachi, la ciudad se encuentra ubicada en la sierra ecuatoriana a una altura mayor a los 3000 metros sobre el nivel del mar, donde el clima es frío con un ambiente de páramo.

La temperatura promedio es de 12 °C, la humedad ambiental es alta por sus condiciones propias de paramo andino.

En base a los criterios antes mencionados se evaluará el tipo de sensor de temperatura más conveniente para el proyecto, los tipos a evaluar serán el sensor analógico y el sensor digital.

Evaluación para el criterio de consumo de energía en la selección del sensor de temperatura

Tabla 2
Evaluación del criterio de facilidad de uso del sensor de temperatura

Consumo	Termistor	Termocupla	Termómetro infrarrojo	Termo resistencia	$\Sigma+1$	Ponderación
Termistor	-	1	1	1	4	0,40
Termocupla	0	-	1	1	3	0,30
Termómetro infrarrojo	0	0	-	1	2	0,20
Termo resistencia	0	0	0	-	1	0,10
			Suma		10	1,00

Evaluación para el criterio de estabilidad en la selección del sensor de temperatura

Tabla 3
Evaluación del criterio de disponibilidad del sensor de temperatura

Estabilidad	Termistor	Termocupla	Termómetro infrarrojo	Termo resistencia	$\Sigma+1$	Ponderación
Termistor	-	1	1	1	4	0,40
Termocupla	0	-	1	1	3	0,30
Termómetro infrarrojo	0	0	-	1	2	0,20
Termo resistencia	0	0	0	-	1	0,10
			Suma		10	1,00

Evaluación para el criterio de disponibilidad en el mercado en la selección del sensor de temperatura en la tabla 4.

Tabla 4
Evaluación del criterio de rango del sensor de temperatura

Disponi- bilidad	Termistor	Termocupla	Termómetro infrarrojo	Termo resistencia	$\Sigma+1$	Pondera- ción
Termistor	-	1	1	1	4	0,40
Termocupla	0	-	1	1	3	0,30
Termómetro infrarrojo	0	0	-	1	2	0,20
Termo resistencia	0	0	0	-	1	0,10
Suma					10	1,00

Evaluación para el criterio de tiempo de respuesta en la selección del sensor de temperatura.

Tabla 5
Evaluación del criterio de tiempo de respuesta del sensor de temperatura

Tiempo de respuesta	Termistor	Termocupla	Termómetro infrarrojo	Termo resistencia	$\Sigma+1$	Pondera- ción
Termistor	-	1	1	1	4	0,40
Termocupla	0	-	1	1	3	0,30
Termómetro infrarrojo	0	0	-	1	2	0,20
Termo resistencia	0	0	0	-	1	0,10
Suma					10	1,00

Finalmente con los resultados de las matrices de evaluación se establece cual será el tipo de sensor a utilizar en el proyecto, donde el valor de prioridad más alto será el seleccionado.

Tabla 6
Resultados de la evaluación para la selección del sensor de temperatura

Conclusión	Disponi- bilidad	Estabi- lidad	Consumo	Tiempo de respuesta	Σ	Prioridad
Termistor	0,12	0,12	0,08	0,04	0,36	4
Termocupla	0,12	0,09	0,06	0,03	0,30	3
Termómetro infrarrojo	0,08	0,06	0,04	0,02	0,20	2
Termo resistencia	0,04	0,03	0,02	0,01	0,10	1

La selección del sensor de humedad se hará en base a los criterios de la tabla 7 donde la disponibilidad de mayor peso, se evaluará el tipo de sensor de humedad más conveniente para el proyecto entre sensor de humedad capacitivo y sensor de humedad resistivo, teniendo en cuenta los criterios de disponibilidad en el mercado, estabilidad del sensor frente a pequeños cambios en la humedad y el consumo energético de cada uno de ellos.

Tabla 7
Criterios de evaluación para el sensor de humedad

Criterio	Disponibilidad	Estabilidad	Consumo	$\Sigma+1$	Ponderación
Disponibilidad	-	1	1	3	0,50
Estabilidad	0	-	1	2	0,33
Consumo	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de consumo de energía en la selección del sensor de humedad

Tabla 8
Evaluación del criterio de consumo de energía del sensor de humedad

Consumo	Capacitivo	Resistivo	$\Sigma+1$	Ponderación
Capacitivo	-	1	2	0,67
Resistivo	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Evaluación para el criterio de disponibilidad en el mercado en la selección del sensor de humedad

Tabla 9
Evaluación del criterio de disponibilidad del sensor de humedad

Disponibilidad	Capacitivo	Resistivo	$\Sigma+1$	Ponderación
Capacitivo	-	1	2	0,67
Resistivo	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Evaluación para el criterio de estabilidad en la selección del sensor de humedad

Tabla 10
Evaluación del criterio estabilidad del sensor de humedad

Estabilidad	Capacitivo	Resistivo	$\Sigma+1$	Ponderación
Capacitivo	-	1	2	0,67
Resistivo	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Con el valor que representa el peso de ponderación de cada una de las opciones se seleccionará el tipo de sensor de humedad a utilizar en el proyecto, donde el valor de prioridad más alto definirá el elemento seleccionado.

Tabla 11
Ponderación para la selección del sensor de humedad

Conclusión	Disponibilidad	Estabilidad	Consumo	Σ	Prioridad
Capacitivo	0,33	0,22	0,11	0,67	1
Resistivo	0,17	0,11	0,06	0,33	2
	Suma			1,00	

Se ha seleccionado para el sensor de temperatura el termistor como mejor opción, para el sensor de humedad se ha seleccionado el sensor capacitivo.

Se decidió utilizar el dispositivo DHT22 que dispone internamente de estos dos tipos de sensores, de temperatura y humedad, por los criterios evaluados anteriormente, el rango de operación del sensor de temperatura integrado, es de -40 °C a 80 °C con un error de +- 0,5 °C y el rango de operación del sensor de humedad relativa es de 0% a 100%, con un error de +- 2%. Además se ha seleccionado este sensor por su bajo costo y la facilidad de encontrarlo en el mercado.

Las características técnicas de este sensor se muestran en la tabla 12.

Tabla 12
Características del sensor DHT22.

Modelo	DHT22
Fuente de alimentación	3,3-6V DC
Señal de salida	salida digital por comunicación

CONTINÚA →

	SPI
Elemento del sensor	Capacitor de polímero
	Termistor NTC
Rango de operación	Humedad 0% a 100% HR
	Temperatura -40°C a 80 °C
Exactitud	humedad + - 2% HR
	temperatura <+- 0,5°C
Resolución o sensibilidad	humedad 0,1% HR
	temperatura 0,1 °C
Respetabilidad	humedad 0- 1% HR
	temperatura +- 0,2 °C
Histéresis de humedad	+ - 0,3% HR
Estabilidad a largo plazo	
	+ - 0,5%HR por año
Periodo de respuesta	2 segundo promedio
Intercambiabilidad	totalmente intercambiable
Dimensiones	pequeño 14x18x5,5 mm
	grande 22x28x5 mm

El sensor posee tres terminales como se muestra en la figura 6, los terminales de conexión de izquierda a derecha son:

- Alimentación positiva de 5 voltios o Vcc.
- Salida de datos por medio de comunicación serial.
- Alimentación de tierra o GND.

La figura 7 muestra el diagrama de conexión del sensor al microcontrolador etiquetado como MCU, el diagrama de conexión completa se puede ver en la figura 7.



Figura 6: Sensor DHT22

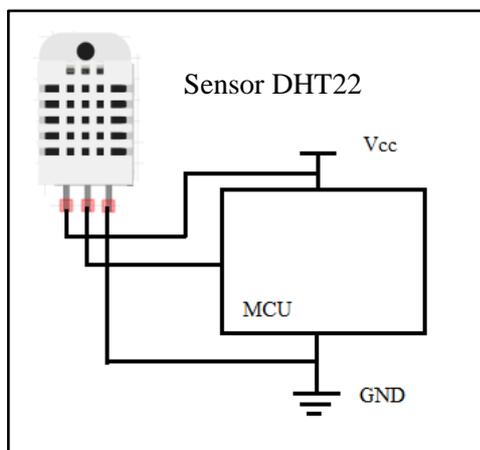


Figura 7: Conexión del sensor DHT22

El microcontrolador seleccionara vía software cual es la variable que desea leer, más adelante se muestra el diagrama completo de conexión del sistema en la figura 18.

3.2.2. Diseño del subsistema de procesamiento de información

Para el procesamiento de información se requiere un sistema que sea adecuado al trabajo que se va a realizar, la característica principal del módulo remoto es que el sistema sea de bajo consumo de energía, también se evaluará la compatibilidad que posean los procesadores para conectarse con otros equipos, disponibilidad en el mercado y el tamaño ya que se busca realizar un dispositivo que se pueda transportar.

La importancia que tendrá cada criterio de evaluación se muestra en la tabla 13

Tabla 13
Criterios de evaluación para la selección del subsistema de procesamiento

Criterio	Consumo	Tamaño	Compatibilidad	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Consumo	-	1	1	1	4	0,40
Tamaño	0	-	1	1	3	0,30
Compatibilidad	0	0	-	1	2	0,20
Disponibilidad	0	0	0	-	1	0,10
			Suma		10	1,00

Hoy en día se cuenta con varias opciones de sistemas procesadores información aplicados a la automatización o al control, con una gran gama de capacidades en el mercado por lo que se evaluará tres tipos de dispositivos.

Minicomputadoras Raspberry Pi.- Son dispositivos compuestos de procesadores de 32 bits que permiten tener una computadora de gama baja.

Controlador lógico programable o PLC.- Es un dispositivo electrónico muy utilizado en la automatización industrial que ofrece una gran versatilidad de funciones.

Microcontrolador.- Los microcontroladores poseen la arquitectura de un computador pero poseen capacidades limitadas de procesamiento y almacenamiento, utilizados para realizar sistemas embebidos.

Evaluación para el criterio de consumo de energía en la selección del dispositivo para el procesamiento de información, a menor consumo se le asignara una mayor ponderación.

Tabla 14
Evaluación del criterio de consumo de energía del subsistema de procesamiento

Consumo	Microcontrolador	PLC	Minicomputador	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador	-	1	1	3	0,50
PLC	0	-	1	2	0,33
Minicomputador	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1,00

Evaluación para el criterio de tamaño del elemento, en la selección del dispositivo para el procesamiento de información en la tabla 15.

Tabla 15
Evaluación del criterio de tamaño del subsistema de procesamiento

Tamaño	Microcontrolador	PLC	Minicomputador	$\sum+1$	Ponderación
Microcontrolador	-	1	1	3	0,50
PLC	0	-	1	2	0,33
Minicomputador	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de compatibilidad de conexión y funcionamiento con otros elementos del sistema, en la selección del dispositivo para el procesamiento de información.

Tabla 16
Evaluación del criterio de compatibilidad del subsistema de procesamiento

Compatibilidad	Microcontrolador	PLC	Minicomputador	$\sum+1$	Ponderación
Microcontrolador	-	1	1	3	0,50
PLC	0	-	1	2	0,33
Minicomputador	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de disponibilidad en el mercado nacional, en la selección del dispositivo para el procesamiento de información.

Tabla 17
Evaluación del criterio de disponibilidad subsistema de procesamiento

Disponibilidad	Microcontrolador	PLC	Minicomputador	$\sum+1$	Ponderación
Microcontrolador	-	1	1	3	0,50
PLC	0	-	1	2	0,33
Minicomputador	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Con las evaluaciones en cada uno de los criterios antes mencionados es importante concluir con el análisis de prioridad, el elemento con mayor valor de prioridad será el tipo de elemento seleccionado en la tabla 18.

Tabla 18
Selección del elemento para el subsistema de procesamiento

conclusión	Consumo	Tamaño	Compatibilidad	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Microcontrolador	0,20	0,15	0,10	0,05	0,50	3
PLC	0,13	0,10	0,07	0,03	0,33	2
Minicomputador	0,07	0,05	0,03	0,02	0,17	1
Suma					1,00	

El microcontrolador seleccionado es el ATmega32u4 de la marca AVR que se encuentra integrado en la placa de aprendizaje Arduino Leonardo que se ve en la figura 8, se ha seleccionado este microcontrolador debido a la versatilidad de trabajo que permite, el bajo costo de los microcontroladores y su disponibilidad en el mercado ecuatoriano, las características se presentan en la tabla 19.



Figura 8: Tarjeta de aprendizaje Arduino Leonardo.

Tabla 19
Características de la tarjeta de aprendizaje Arduino Leonardo.

Microcontrolador	ATmega32u4
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada a la placa	7-12V
Límites de voltaje de la placa	6-20V
Pines digitales I/O	20

CONTINÚA →

Canales PWM	7
Canales de entrada analógica	12
Corriente directa por pines I/O	40 mA máximo
Corriente directa por pin de 3,3V	50 mA máximo
Memoria Flash	32 KB (ATmega32u4) 4 KB usados para el bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Cristal	16 MHz
Largo	68.6 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	20g

3.2.3. Funcionamiento del módulo remoto

El subsistema de procesamiento es donde se establecerá la manera de funcionar del módulo.

En la figura 9 se muestra un diagrama de flujo que representa las acciones a seguir por el microcontrolador; primero se obtiene la información de entrada del sistema que será la medida de las variables de humedad y temperatura, en base a esta información se realizará el cálculo para comprobar si se está presentando una helada o no.

Se presentará la información en las salidas, una de ellas será la transmisión de datos hasta el módulo base y la segunda salida es la visualización mediante el sistema de señalización que deberá ser entendible para el usuario, el sistema esperará 5 segundos y volverá a ejecutar el programa.

De esta manera el monitoreo climático será ejecutado y actualizado constantemente.

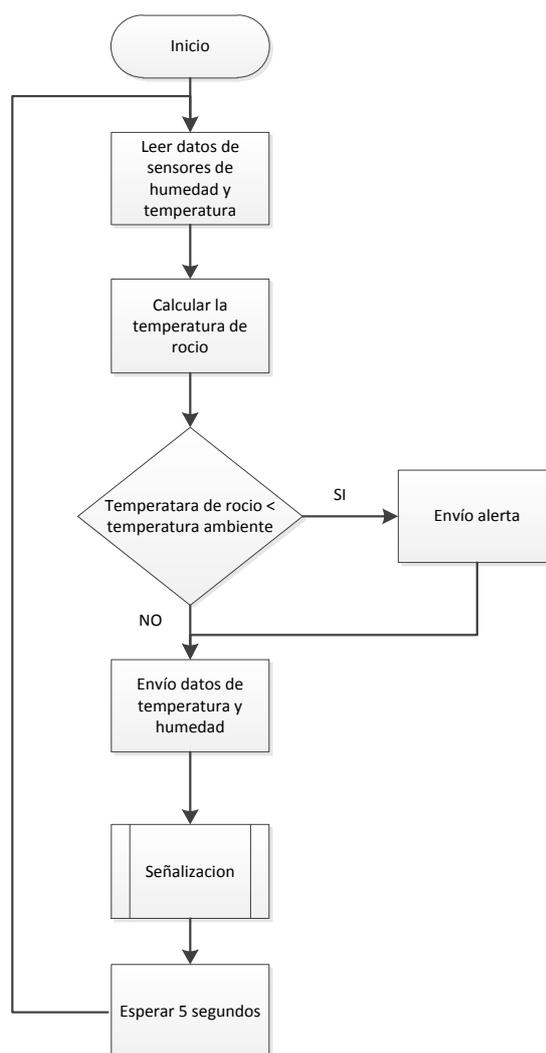


Figura 9: Diagrama de flujo del funcionamiento del módulo remoto

3.2.4. Diseño del subsistema de señalización visual

La señalización visual se hará mediante iluminación de colores teniendo tres estados diferentes, cada color corresponderá a un periodo de días establecido por el agricultor, dichos periodos serán ingresados mediante una interfaz de usuario que manejará el operador.

Los criterios de evaluación serán:

Consumo de energía.- se busca que el módulo consuma la menor cantidad de energía.

Disponibilidad en el mercado.- Que tan fácil es encontrar estos elementos en el mercado local, y a su vez que tan costosos son en el mercado local.

Compatibilidad.- hacer relación a la facilidad de conexión y adaptación con el subsistema de procesamiento, se evalúa si el elemento necesita algún sistema de conexión adicional.

Estos criterios tendrán mayor o menor ponderación dependiendo de su relevancia para el presente proyecto.

Tabla 20
Criterios de evaluación para la selección del tipo de señalización visual

Criterio	Consumo	Disponibilidad	Compatibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Consumo	-	1	1	3	0,50
Disponibilidad	0	-	1	2	0,33
Compatibilidad	0	0	-	1	0,17
		Suma		6	1,00

Evaluación para el criterio de consumo de energía, en la selección de la señalización visual.

Tabla 21
Evaluación del criterio de consumo de energía de la señalización visual

Consumo	LED	Baliza comercial	$\Sigma+1$	Ponderación
LED	-	1	2	0,67
Baliza comercial	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Evaluación para el criterio de disponibilidad en el mercado, en la selección de en la selección de la señalización visual.

Tabla 22
Evaluación del criterio disponibilidad de la señalización visual

Disponibilidad	LED	Baliza comercial	$\Sigma+1$	Ponderación
LED	-	1	2	0,67
Baliza comercial	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Evaluación para el criterio de compatibilidad de conexión o facilidad de uso, en la selección de en la selección de la señalización visual en la tabla 23.

Tabla 23
Evaluación del criterio compatibilidad de la señalización visual

Compatibilidad	LED	Baliza comercial	$\Sigma+1$	Ponderación
LED	-	1	2	0,67
Baliza comercial	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Con los criterios de evaluación obtenemos una tabla de resultados que nos indica cual es la mejor opción para realizar la señalización visual, demostrando que la mejor opción es el uso de luz LED, en esta evaluación el peso de consumo de energía es muy importante.

Tabla 24
Selección de la señalización visual por prioridad

conclusión	Consumo	Disponibilidad	Compatibilidad	Σ	Prioridad
LED	0,33	0,22	0,11	0,67	2
Baliza comercial	0,17	0,11	0,06	0,33	1
	Suma			1,00	

El ingreso de los parámetros de configuración para los colores de la baliza, en función de los días para cada color, debe ser realizado por el usuario por lo que se realizará mediante 6 pulsadores y una pantalla que permita visualizar los datos.

Para la selección de la pantalla se necesita saber cuáles son los datos a presentar, al ser una interfaz para el usuario final se requiere mostrar la información de las variables y también la de los días de los colores rojo y amarillo ya que después de estos periodos la luz se mantendrá en color verde.

Los datos de pantalla serán:

- Temperatura
- Humedad
- Días programados para el color rojo
- Días programados para el color amarillo
- Días transcurridos desde la configuración

Las pantallas de cristal líquido que se encuentra en el mercado se identifican por el número de filas junto al número de columnas, donde cada símbolo alfa numérico ocupa una columna.

El criterio de selección en este caso será la cantidad de información que se puede presentar en pantalla, siendo la mayor cantidad de información la que reciba la mayor ponderación.

Tabla 25
Selección de la pantalla de cristal líquido

Cantidad	LCD 4x20	LCD 4x16	LCD 2x16	$\Sigma+1$	Ponderación
LCD 4x20	-	1	1	3	0,50
LCD 4x16	0	-	1	2	0,33
LCD 2x16	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Se ha seleccionado la pantalla LCD 4x20 debido a su mayor manejo de información.

Su forma de conexión se muestra en la figura 10, la información ingresada se verificara en una pantalla liquida de cristal de 4 filas por 20 columnas, la configuración de la pantalla se puede ver en la figura 11, el diagrama de conexión completo se puede ver figura 18.

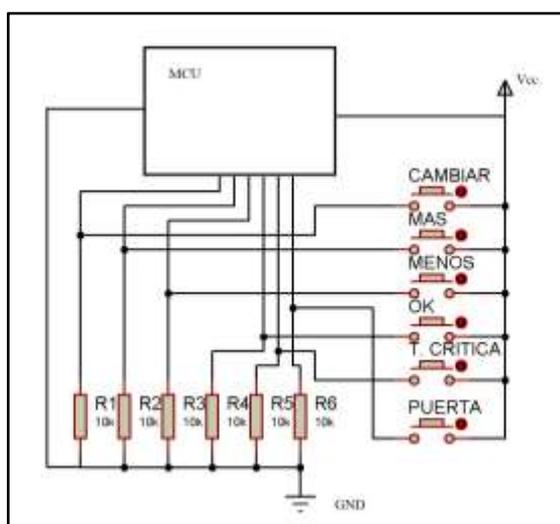


Figura 10: Conexión de los pulsadores

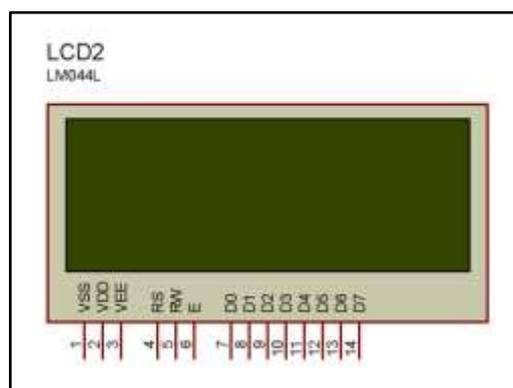


Figura 11: Configuración de pines del LCD 20x4

Para este subsistema se utilizará un segmento de tira LED, como se muestra en la figura 12, de colores rojo, azul y verde, RGB por sus siglas en inglés. La cual permite proyectar una amplia gama de colores al combinarlos, esta tira está acondicionada para que cada color funcione con 12 voltios, al igual que la tarjeta de aprendizaje Arduino, cada segmento está conformado por tres LEDs y su forma de conexión es de ánodo común.



Figura 12: Tira LED RGB

Para encender y apagar cada LED se utilizará la conexión mostrada en la figura 13, se debe tener en cuenta que la alimentación de las luces LED será de 12 voltios y para el microcontrolador será de 5V, el diagrama de conexión completo se puede ver figura 18.

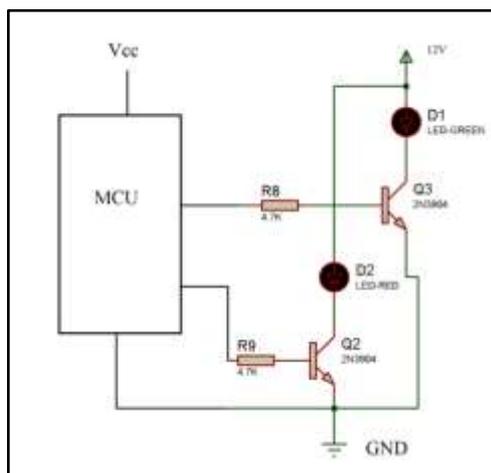


Figura 13: Conexión de LEDs de la señalización visual

Los colores que se usarán corresponden a un código de colores muy conocido, que son los colores de semaforización de esta manera podemos indicar con los colores rojo, amarillo y verde diferentes periodos en cada producto, solo se utiliza el color verde y rojo de la tira RGB ya que al encender estos dos colores se obtiene el color amarillo.

3.2.5. Funcionamiento de la señalización visual

La señalización visual se realiza mediante la baliza LED, su funcionamiento depende de la programación realizada por el usuario a través del teclado y la pantalla LCD.

Para reconocer lo que el usuario desea ingresar se muestra el diagrama de flujo de la figura 14, el programa funciona de forma secuencial, si el usuario presiona la tecla cambiar, el sistema de la baliza entra a una subrutina de nombre señalización como se ve en el diagrama de flujo de la figura 14, se debe hacer el ingreso de los días que la baliza permanecerá en rojo, el ingreso finaliza al presionar el botón OK, una vez ingresado el valor para el color rojo se debe ingresar el valor para el color amarillo y presionar OK.

En caso de que no se esté realizando el ingreso de los valores para los días el sistema evalúa cuantos días han transcurrido desde que se encendió el dispositivo para encender la luz del color que corresponde y regresar a donde se llamó esta subrutina.

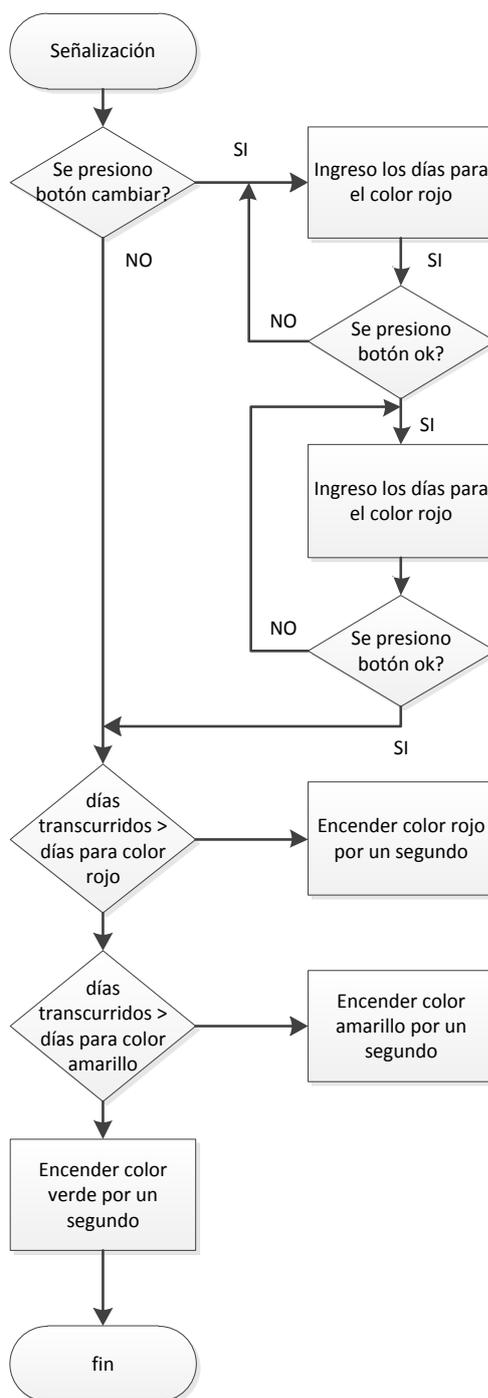


Figura 14: Diagrama de flujo de la señalización visual

3.2.6. Diseño de subsistema de comunicación

En este proyecto se requiere un medio de comunicación inalámbrico que permita la transmisión entre el módulo remoto y el módulo base, para lo cual se ha establecido el lugar donde estará localizado el módulo remoto quien cumplirá la función de transmitir las variables de humedad y temperatura, la parcela o terreno donde se colocará el dispositivo se encuentra a una distancia de 60 metros de la

oficina de la hacienda, en la oficina se colocará el módulo base, en la figura 15 se observa parte de la plantación de quinua de la “Hacienda la Cantora”.



Figura 15: Cultivo de quinua de la "Hacienda la Cantora"

La velocidad de transmisión requerida no es alta ya que solo se enviará valores y caracteres que permitan al receptor interpretar la información, los datos se enviarán cada minuto para reducir el consumo de batería en el módulo remoto.

Los criterios de evaluación para el subsistema de comunicación son:

Consumo de energía.- Como se menciona anteriormente es muy importante para el módulo remoto el ahorro de energía por lo que este criterio tiene la ponderación más alta para la evaluación.

Distancia de transmisión.- Entre las varias soluciones de comunicación inalámbrica uno de los parámetros que limita su funcionamiento es la distancia entre el emisor y receptor.

Velocidad de transmisión.- En el caso de este proyecto al no requerir una tasa de transferencia de información alta este es uno de los parámetros menos significativos.

Costo.- En el caso de las telecomunicaciones existen soluciones que requieren un pago para su funcionamiento y otras no, sin embargo la importancia de una solución que permita detectar heladas puede o no justificar un pago por funcionamiento esto dependerá de una evaluación costo beneficio del proyecto en

general, por tal motivo es importante analizar este criterio pero no se le dará una ponderación alta para la evaluación.

Tabla 26
Criterios de evaluación para la selección del protocolo de comunicación

Criterio	Consumo	Distancia	Velocidad	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Consumo	-	1	1	1	4	0,40
Distancia	0	-	1	1	3	0,30
Velocidad	0	0	-	1	2	0,20
Costo	0	0	0	-	1	0,10
	Suma				10	1,00

Evaluación para el criterio de consumo de energía, en la selección del medio de comunicación inalámbrico.

Tabla 27
Evaluación de consumo de energía del protocolo de comunicación

Consumo	Zigbee	Bluetooth	Gprs	$\Sigma+1$	Ponderación
Zigbee	-	1	1	3	0,50
Bluetooth	0	-	1	2	0,33
Gprs	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de distancia de transmisión, en la selección del medio de comunicación inalámbrico.

Tabla 28
Evaluación de distancia de transmisión del protocolo de comunicación

Distancia	Zigbee	Bluetooth	Gprs	$\Sigma+1$	Ponderación
Zigbee	-	1	1	3	0,50
Bluetooth	0	-	1	2	0,33
Gprs	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de velocidad de transmisión, en la selección del medio de comunicación inalámbrico en la tabla 29.

Tabla 29
Evaluación de velocidad de transmisión del protocolo de comunicación

Velocidad	Gprs	Bluetooth	Zigbee	$\Sigma+1$	Ponderación
Gprs	-	1	1	3	0,50
Bluetooth	0	-	1	2	0,33
Zigbee	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de costo incluyendo el pago por comunicación en el caso del Gprs, en la selección del medio de comunicación inalámbrico.

Tabla 30
Evaluación del criterio costo del protocolo de comunicación

Costo	Zigbee	Bluetooth	Gprs	$\Sigma+1$	Ponderación
Zigbee	-	1	1	3	0,50
Bluetooth	0	-	1	2	0,33
Gprs	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

En base a las evaluaciones se determina cual es la mejor opción de comunicación inalámbrica, teniendo como opción principal a los de mayor prioridad.

Tabla 31
Selección del protocolo de comunicación por prioridad

Conclusión	Consumo	Distancia	Velocidad	Costo	Σ	Prioridad
Zigbee	0,20	0,15	0,10	0,05	0,50	3
Bluetooth	0,13	0,10	0,07	0,03	0,33	2
Gprs	0,07	0,05	0,03	0,02	0,17	1
	Suma				1,00	

Por a las características mencionadas, se utilizará la comunicación inalámbrica bajo el protocolo Zigbee ya que trabaja en las bandas de 2.4 GHz que no tienen un costo, los dispositivos que utilizan este protocolo están diseñados para alcances largos, baja velocidad de transmisión y ahorro de energía, estas características principales concuerdan con las necesidades de nuestro sistema tanto para el módulo remoto como para el módulo base.

Se ha elegido los módulos Xbee del fabricante Digi International de la serie 2, estos módulo permiten crear una red de sensores de ser necesario, permitiendo que el proyecto sea escalable a futuro.

Las características principales se las muestra en la tabla 32 y se puede observar el módulo de comunicación Xbee en la figura 16.



Figura 16: Módulo Xbee serie 2.

Tabla 32
Características del módulo Xbee S2.

Voltaje de operación	3.3V
Corriente para envío	40mA.
Velocidad de transmisión	250kbps Max.
Potencia	2mW output (+3dBm).
Distancia	400ft (120m)
Antena tipo	Built-in antenna.
Pines de entrada	
analógica	6 de 10-bit
Pines digitales de I/O	8
Seguridad	128-bit encriptación.
Configuración	AT or API set de comandos.

La conexión de este transmisor se la muestra en la figura 17, el diagrama de conexión del circuito completo del módulo remoto se muestra en la figura 18.

El módulo de comunicación funciona con 3 voltios, la tarjeta de aprendizaje Arduino Leonardo provee este voltaje en sus pines de conexión por lo que no se requiere de ningún circuito de acoplamiento de voltaje.

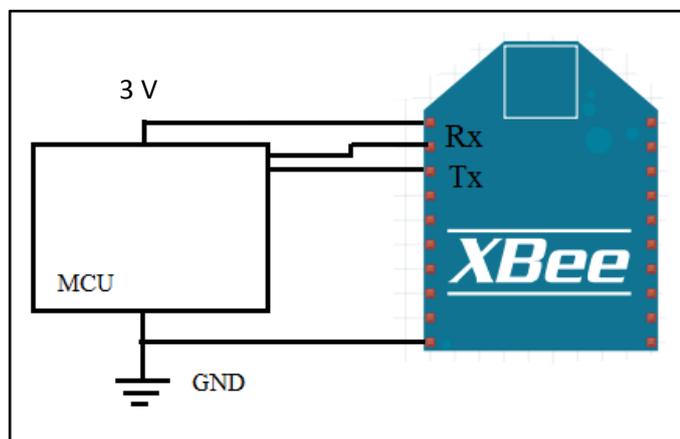


Figura 17: Diagrama de conexión del módulo Xbee

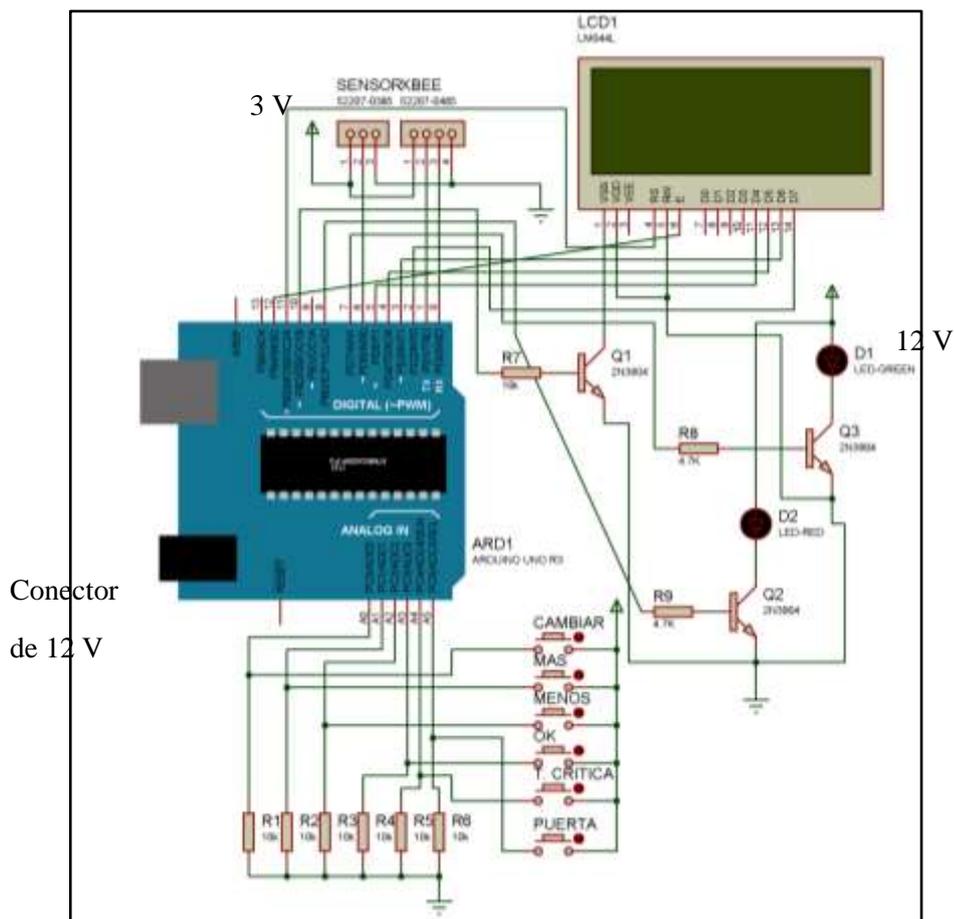


Figura 18: Diagrama del circuito general del módulo remoto

3.2.7. Diseño del subsistema de alimentación del módulo remoto

Cada módulo cuenta con su propio sistema de alimentación, dependiendo de sus características.

El módulo remoto para poder realizar medidas en el cultivo debe ser totalmente independiente ya que debe permitir su movilización, por lo que se usará un sistema alimentado por baterías.

Las baterías serán recargadas por un panel solar, ya que al estar ubicado en la plantación se encuentra distante del sistema de energía eléctrica, esto le permitirá independencia, además no existirá ningún objeto que pudiera generar sombras durante el día por lo que el panel solar se mantendrá trabajando y el módulo podrá funcionar correctamente.

Un sistema de energía por panel solar requiere de cuatro elementos los cuales son:

- Panel solar
- Regulador
- Batería
- Carga

a) Panel solar

En el mercado se consiguen diferentes tipos de paneles solares, lo importante es el voltaje y corriente que genera para soportar la carga del circuito y alimentar la batería en las horas de sol.

b) Regulador

Es necesario un regulador de carga principalmente porque este dispositivo no permite que exista una sobrecarga, además mantiene un voltaje de carga constante y de esta manera se cuida la vida útil de la batería.

c) Batería

La batería será dimensionada dependiendo del consumo de energía que tendrá el circuito. Los valores característicos para realizar la selección de una es su voltaje de

salida y la corriente que puede ofrecer, que es mostrada como miliamperios hora (mAh).

d) Carga

Finalmente la carga será el circuito que consuma la energía de la batería y se debe calcular su consumo por hora para poder acoplar las medidas a los miliamperios hora como se mencionó anteriormente.

Una vez que se tiene los datos de consumo se debe establecer cuanto tiempo deberá funcionar el sistema solamente con la batería y esto dependerá mucho de la aplicación que se le dé, no es lo mismo un sistema que requiera funcionar durante 12 horas sin recargar la batería, como sería el funcionamiento nocturno en nuestro caso, que un sistema de respaldo por corte de energía que será necesario por pocos minutos como el sistema UPS para un computador; en la figura 19 se muestra una representación de la conexión con los componentes que conforman el sistema de alimentación del módulo remoto.

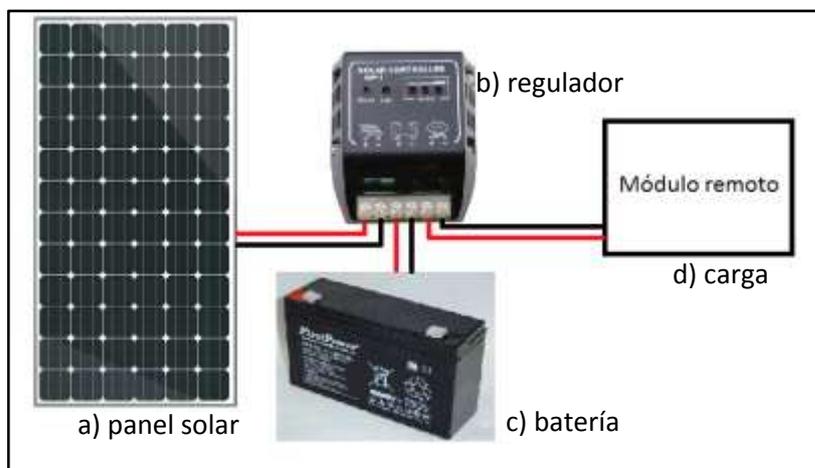


Figura 19: Esquema de conexión de la alimentación por panel solar

Para diseñar el subsistema de alimentación se debe tener en cuenta las características de los componentes que conforman toda la carga, para el prototipo se tiene los siguientes datos mostrados en la tabla 33 y en la tabla 34.

Tabla 33
Voltajes de funcionamiento

Sensor:	3.3 a 6 V DC
<hr/>	
Luz indicadora:	12 V DC
<hr/>	
Microcontrolador y LCD:	6 a 12 VDC
<hr/>	
Módulo Xbee:	3.3 V DC

Tabla 34
Corrientes de funcionamiento

Sensor:	1,6 mA (valor medido durante la transmisión)
	0,4 mA (valor medido fuera de transmisión)
<hr/>	
Luz Indicadora:	20 mA (valor medido por cada color encendido)
<hr/>	
Microcontrolador:	114 mA (valor medido incluido el LCD)
<hr/>	
Módulo Xbee:	40 mA (durante transmisión)
	0,1 mA (valor medido fuera de transmisión)

El prototipo cada cinco segundos medirá las variables de temperatura ambiente y humedad relativa y enviará la información adquirida hasta el módulo base, la luz indicadora permanecerá 4 segundos apagada y se encenderá un segundo.

El valor de corriente de consumo será de 114.5 mA durante cuatro segundos y un consumo de 175.6 mA durante un segundo, el promedio de consumo es de 126.72 mA.

Para el voltaje de la batería se seleccionara el valor máximo necesario ya que los demás voltajes se los podrá adaptar a partir de este, por lo tanto el valor necesario será de 12 V DC.

Teniendo el valor de voltaje necesario y el valor de corriente que consume, se debe definir cuanto tiempo debe durar la batería alimentando el sistema, de esta forma se conocerá las características de la batería.

En Ecuador tenemos días y noches de doce horas cada uno, si se presentara un día nublado se tendría que el sistema solar no cargaría a la batería durante 36 horas y las siguientes 12 horas debería continuar aportando con un mínimo de energía, para que el sistema continúe funcionando mientras se carga, por tales motivos se ha establecido que las horas que debe funcionar el sistema de manera independiente debería ser 48 horas, sabemos que la batería que se usará será de 12 V. pero otro parámetro de dimensionamiento de la batería es el valor de miliamperios hora por lo que se calculara de la siguiente manera.

Carga eléctrica de la batería = consumo eléctrico * tiempo de descarga

$$Carga\ eléctrica\ de\ la\ batería = 126.72\ mA * 48\ h$$

$$Carga\ eléctrica\ de\ la\ batería = 6082.56\ mAh$$

Un valor comercial para la batería sería 7000 mAh de 12 voltios.

El panel solar que alimentará a la carga que se encontró en el mercado es de 18 voltios y de una potencia máxima de 10 vatios el cual se muestra en la figura 27.



Figura 20: Panel solar

Es necesario que entre el panel solar la batería y la carga exista un regulador de carga, como se indicó anteriormente en la figura 19, el cual no permite que la batería se sobrecargue y proteja la vida útil de esta, el regulador de carga a utilizar es el que se muestra en la figura 21 marca CMP12.



Figura 21: Regulador de carga para paneles solares

3.3. Diseño del módulo base

3.3.1. Diseño del subsistema de comunicación

En base a la evaluación hecha anteriormente en la que se obtiene como resultado la tabla 31, se seleccionó la comunicación Zigbee por lo que en el módulo base se utilizará este mismo protocolo de comunicación.

El sistema del módulo base tendrá como entrada la información transmitida desde el módulo remoto, el subsistema de comunicación debe ser compatible entre los dos módulos, se seleccionó los módulos de comunicación Xbee serie 2 que se muestra en la figura 22, un diagrama de conexión completo se muestra en la figura 25.

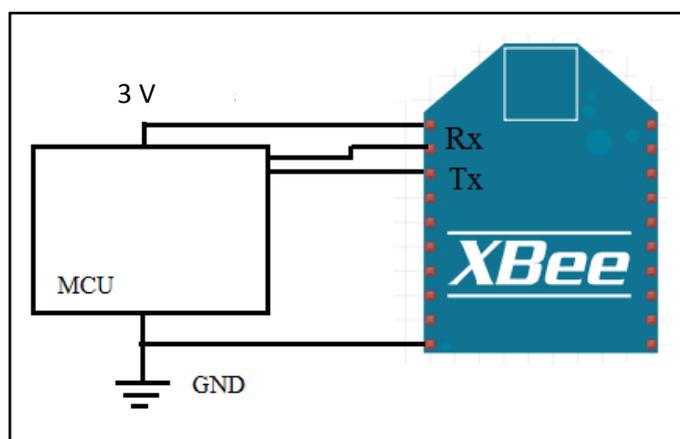


Figura 22: Diagrama de conexión del módulo Xbee

3.3.2. Diseño del subsistema de procesamiento de información

El módulo base debe presentar la información recibida de temperatura y humedad al usuario, si el módulo remoto indica que se está presentando una helada entra en funcionamiento el sistema de alerta.

Para este caso el ahorro de energía ya no es el factor principal por lo que se hará nuevamente una evaluación de posibles dispositivos de procesamiento de la información

Los criterios para la evaluación del procesador de información para el módulo base son:

Compatibilidad.- Hace referencia a la facilidad de conexión y funcionamiento con otros equipos, sensores o actuadores que estarán involucrados en el módulo.

Tamaño.- El tamaño el módulo base tiene importancia ya que se busca que no genere inconformidad dentro de la casa u oficina del agricultor

Consumo.- El módulo al estar dentro de la oficina o casa del agricultor tendrá mayor facilidad de ser conectado al sistema eléctrico por lo que el cantidad de consumo de energía pierde relevancia, por lo que recibe una menor ponderación.

Disponibilidad.- La disponibilidad en el mercado continúa siendo un factor a evaluar sobre todo porque se encuentra ligado al precio en el mercado ecuatoriano.

Tabla 35
Criterios de evaluación para la selección del subsistema de procesamiento

Criterio	Compatibilidad	Tamaño	Consumo	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Compatibilidad	-	1	1	1	4	0,40
Tamaño	0	-	1	1	3	0,30
Consumo	0	0	-	1	2	0,20
Disponibilidad	0	0	0	-	1	0,10
					Suma	10 1,00

Al igual que la evaluación del subsistema de procesamiento de información del módulo remoto se analizará tres tipos de dispositivos que podrían ser usados para el presente proyecto que son: las minicomputadoras, los PLCs y los microcontroladores.

Evaluación para el criterio de compatibilidad, en la selección del dispositivo para el procesamiento de información.

Tabla 36
Evaluación del criterio compatibilidad del subsistema de procesamiento

Compatibilidad	Microcontrolador	PLC	Minicomputador	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador	-	1	1	3	0,50
PLC	0	-	1	2	0,33
Minicomputador	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de tamaño, en la selección del dispositivo para el procesamiento de información.

Tabla 37
Evaluación del criterio tamaño del subsistema de procesamiento

Tamaño	Microcontrolador	PLC	Minicomputador	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador	-	1	1	3	0,50
PLC	0	-	1	2	0,33
Minicomputador	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de consumo de energía, en la selección del dispositivo para el procesamiento de información.

Tabla 38
Evaluación del criterio consumo del subsistema de procesamiento

Consumo	Microcontrolador	PLC	Minicomputador	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador	-	1	1	3	0,50
PLC	0	-	1	2	0,33
Minicomputador	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de disponibilidad, en la selección del dispositivo para el procesamiento de información.

Tabla 39
Evaluación del criterio disponibilidad del subsistema de procesamiento

Disponibilidad	Microcontrolador	PLC	Minicomputador	$\Sigma+1$	Ponderación
Microcontrolador	-	1	1	3	0,50
PLC	0	-	1	2	0,33
Minicomputador	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

En base a las evaluaciones de los criterios anteriormente mencionados se hace la selección del dispositivo más acorde para el módulo base.

Tabla 40
Selección del dispositivo para el procesamiento de información

Conclusión	Compatibilidad	Tamaño	Consumo	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Microcontrolador	0,20	0,15	0,10	0,05	0,50	3
PLC	0,13	0,10	0,07	0,03	0,33	2
Minicomputador	0,07	0,05	0,03	0,02	0,17	1
	Suma				1,00	

Se seleccionó el microcontrolador ATmega32u4 de la marca AVR que se encuentra integrado en la placa de aprendizaje Arduino Leonardo, similar al utilizado en el módulo remoto, esto permite que al programar el sistema no se requiera cambiar parámetros del microcontrolador para el entorno de desarrollo.

La figura 23 muestra un diagrama de flujo que representa la forma en como el microcontrolador trabajará.

El diagrama de flujo indica que el programa presentará un mensaje inicial para el usuario y esperará la información que transmita el módulo remoto, al recibir la información se presentará al usuario los datos de temperatura y humedad y evaluará si se ha enviado una alerta de helada, en caso de que no exista un alerta no se dará ningún tipo de aviso al agricultor, en caso de que exista una alerta se activará una alarma que sonara hasta que el usuario la desactive.

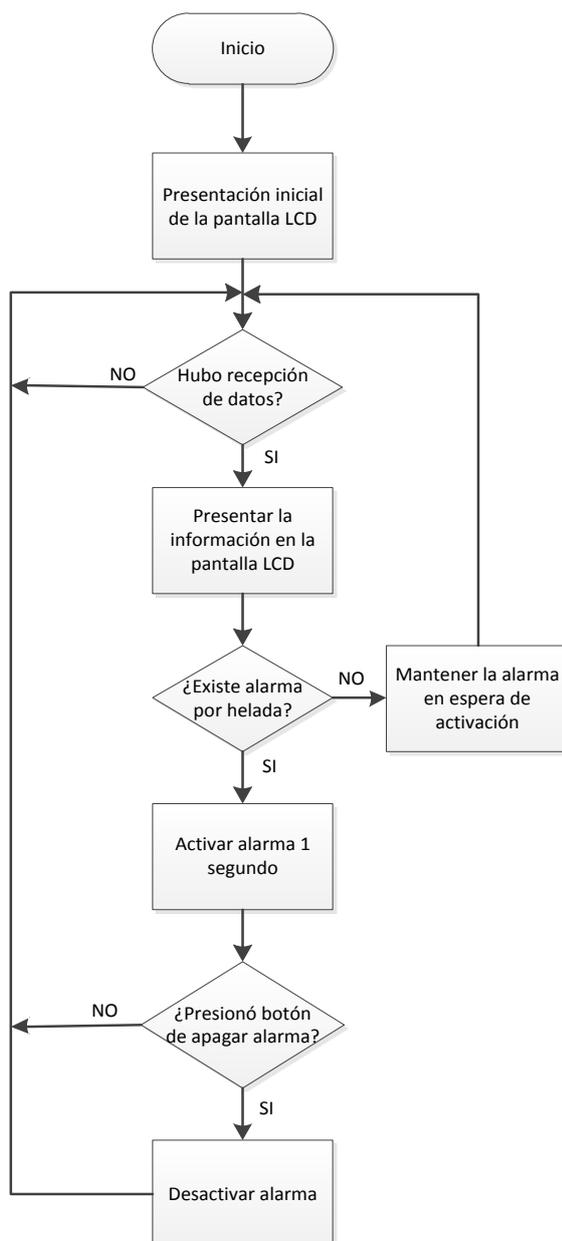


Figura 23: Diagrama de flujo de funcionamiento del módulo base

El diagrama de conexión completo del módulo base se muestra en la figura 25.

3.3.3. Diseño del subsistema de interfaz de usuario del módulo base

La interfaz con el usuario corresponde a la pantalla de presentación de información y los actuadores que en este caso son una sirena de aviso y un pulsador que permite silenciar la sirena.

Se presentará en pantalla dos datos, de las variables temperatura y humedad, en este caso se requiere poca capacidad de información en pantalla.

El criterio de selección en este caso será la cantidad de información que se puede presentar en pantalla, siendo la menor cantidad de información la que reciba la mayor ponderación.

Tabla 41
Selección de la pantalla de cristal líquida

Cantidad	LCD 2x16	LCD 4x16	LCD 4x20	$\Sigma+1$	Ponderación
LCD 2x16	-	1	1	3	0,50
LCD 4x16	0	-	1	2	0,33
LCD 4x20	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Se ha seleccionado la pantalla LCD 2x16 debido a su reducido manejo de información a comparación con las otras pantallas.

Como actuador del subsistema se requiere que sea un dispositivo que alerte al agricultor, por lo que un sonido de alerta sería la forma más adecuada de dar el aviso de una situación que requiera especial atención.

Se evaluará los dispositivos que se podrían utilizar en el subsistema que son una sirena comercial y un zumbador piezoeléctrico en la tabla 42, ya que el módulo base se encontrará cerca del agricultor no se requiere un sonido demasiado fuerte.

Los criterios de evaluación serán:

Consumo de energía.- Este criterio evalúa el consumo de cada uno de los elementos teniendo en cuenta tanto el voltaje necesario como la corriente que requeriría para funcionar.

Costo.- Se evalúa el valor del elemento y su disponibilidad en el mercado.

Dificultad de uso.- Este parámetro evalúa si el elemento requiere algún sistema de adaptación para funcionar o se puede realizar una conexión directa.

Tabla 42
Criterios de evaluación para la selección del actuador auditivo

Criterio	Consumo	Costo	Dificultad	$\Sigma+1$	Ponderación
-----------------	----------------	--------------	-------------------	------------------------------	--------------------

Consumo	-	1	1	3	0,50
Costo	0	-	1	2	0,33
Dificultad	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1,00

Evaluación para el criterio de consumo de energía, en la selección del dispositivo para la señal auditiva.

Tabla 43
Evaluación del criterio consumo de energía de los dispositivos

Consumo	Piezoeléctrico	Sirena	$\Sigma+1$	Ponderación
Piezoeléctrico	-	1	2	0,67
Sirena	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Evaluación para el criterio de costo de implementación, en la selección del dispositivo para la señal auditiva.

Tabla 44
Evaluación del criterio costo de los dispositivos

Costo	Piezoeléctrico	Sirena	$\Sigma+1$	Ponderación
Piezoeléctrico	-	1	2	0,67
Sirena	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Evaluación para el criterio de dificultad de conexión, en la selección del dispositivo para la señal auditiva.

Tabla 45
Evaluación del criterio dificultad de conexión de los dispositivos

Dificultad	Piezoeléctrico	Sirena	$\Sigma+1$	Ponderación
Piezoeléctrico	-	1	2	0,67
Sirena	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

En base a las anteriores evaluaciones se tiene la siguiente tabla 46 como conclusión para la selección del dispositivo adecuado.

Tabla 46
Selección del dispositivo para la señal auditiva

Conclusión	Consumo	Costo	Dificultad	Σ	Prioridad
Piezoeléctrico	0,33	0,22	0,11	0,67	2
Sirena	0,17	0,11	0,06	0,33	1
Suma				1,00	

Para la señal de alarma se seleccionó un zumbador piezoeléctrico que funciona con voltaje de 5 V el cual se ve en la figura 24.



Figura 24: Zumbador

Si el usuario desea silenciar la sirena en caso de que se presente una alarma debido a la presencia de heladas, lo puede hacer mediante un pulsador, se muestra un diagrama de conexión completo del módulo base en la figura 25.

La configuración completa de conexión muestra al módulo Xbee como cuatro pines, esto es debido a que solo se usará los pines de alimentación positivo, negativo y los pines de comunicación TX, RX.

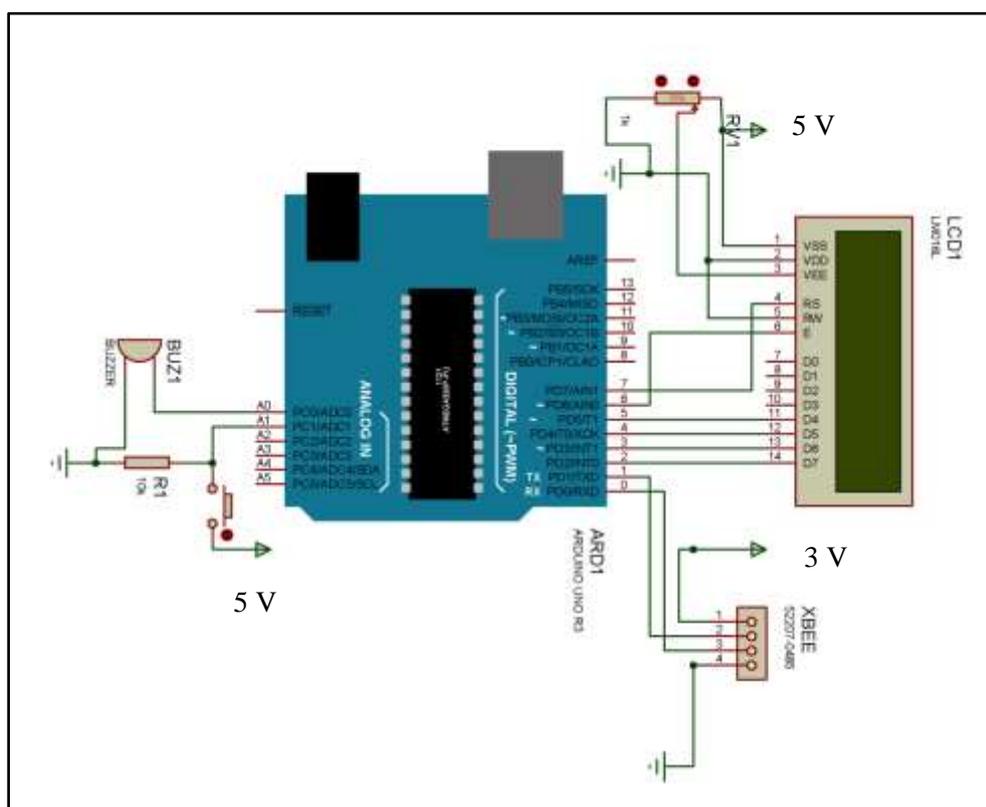


Figura 25: Diagrama del circuito general del módulo base

3.3.4. Diseño del subsistema de alimentación del módulo base

El módulo base se encontrará ubicado dentro de la oficina u hogar del agricultor por lo que puede disponer de energía del sistema eléctrico, mediante un circuito de adaptación de voltaje.

La tarjeta de aprendizaje Arduino Leonardo permite conectar una alimentación de 6 V a 12 V en su entrada, para el consumo del circuito se tiene los valores de las tablas 47 y 48.

Tabla 47
Voltajes de funcionamiento del módulo base

Microcontrolador y LCD: 6 a 12 VDC

Módulo Xbee: 3.3 V DC

Tabla 48
Corrientes de funcionamiento del módulo base

Microcontrolador:	114 mA (valor medido incluido el LCD)
	<hr/>
	40 mA (durante transmisión)
Módulo Xbee:	<hr/>
	0,1 mA (valor medido fuera de transmisión)

Cada cinco segundos el prototipo recibirá las variables de temperatura ambiente y humedad relativa y las presentará en pantalla.

El valor de corriente de consumo será de 114.1 mA durante cuatro segundos y un consumo de 154 mA al recibir los datos, siendo este último el valor máximo de consumo.

Para la alimentación de este módulo se contempla como opciones fabricar una fuente de voltaje regulado o adquirir un una fuente en el mercado, en ambos casos deberá cumplir con los parámetros mencionados en las tablas 47 y 48.

Para evaluar entre estas dos opciones se tendrá como criterios de selección el precio de cada una de las opciones, y la disponibilidad en el mercado de los materiales o del producto a comprar.

Tabla 49
Criterios de evaluación para la selección del subsistema de alimentación

Criterio	Precio	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Precio	-	1	3	0,60
Disponibilidad	0	-	2	0,40
Suma			5	1,00

Evaluación para el criterio de precio, en la selección de la fuente de voltaje.

Tabla 50
Evaluación del criterio de precio del subsistema de alimentación

Precio	Comprar	Fabricar	$\Sigma+1$	Ponderación
Comprar	-	1	2	0,67
Fabricar	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Evaluación para el criterio de disponibilidad en el mercado, en la selección de la fuente de voltaje.

Tabla 51
Evaluación del criterio disponibilidad del subsistema de alimentación

Disponibilidad	Comprar	Fabricar	$\Sigma+1$	Ponderación
Comprar	-	1	2	0,67
Fabricar	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Se concluye en la siguiente tabla cual sería la mejor opción para el presente proyecto.

Tabla 52
Selección de la mejor opción para el subsistema de alimentación

Conclusión	Precio	Disponibilidad	Σ	Prioridad
Comprar	0,40	0,27	0,67	2
Fabricar	0,20	0,13	0,33	1
Suma			1,00	

Se ha seleccionado un transformador de voltaje para alimentar la tarjeta que cumple con el rango de voltajes y cubre el valor máximo de corriente consumido, el transformador provee un voltaje directo de nueve voltios a un amperio a la salida, y requiere de un voltaje alterno de 100 a 240 voltios a la entrada, la marca que se selecciono es Cexxic y se puede ver en la figura 26.



Figura 26: Transformador de voltaje para el módulo base

3.4. Diseño de la Interfaz Humano Máquina

Es necesario almacenar la información que provee el dispositivo para poder analizar lo que ha ocurrido durante un periodo de tiempo, también se requiere visualizar lo que está ocurriendo en el instante que el usuario lo necesite.

Se evaluará entre dos opciones para la realización del programa la primera opción es realizarlo bajo software propietario y la segunda opción es realizarlo con software propietario.

Los criterios de selección serán:

Costo.- El costo se refiere al pago de licencias, de ser el caso.

Documentación.- La documentación se refiere a la información que se puede encontrar para el manejo del software en el que se va a programar.

Siendo el criterio de mayor importancia el costo por lo que recibirá una mayor ponderación para la evaluación.

Tabla 53
Criterios de evaluación para la selección del tipo de software

Criterio	Costo	Documentación	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo	-	1	3	0,60
Documentación	0	-	2	0,40
Suma			5	1,00

Evaluación para el criterio de Costo, en la selección de tipo de software para la interfaz humano máquina.

Tabla 54
Evaluación del criterio costo para la selección del tipo de software

Costo	Libre	Propietario	$\Sigma+1$	Ponderación
Libre	-	1	2	0,67
Propietario	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Evaluación para el criterio de documentación, en la selección de tipo de software para la interfaz humano máquina.

Tabla 55
Evaluación del criterio documentación para la selección del tipo de software

Documentación	Libre	Propietario	$\Sigma+1$	Ponderación
Libre	-	1	2	0,67
Propietario	0	-	1	0,33
	Suma		3	1,00

Mediante la evaluación se observa que el software propietario para el presente proyecto es el de menor prioridad.

Tabla 56
Selección del tipo software de desarrollo

Conclusión	Costo	Documentación	Σ	Prioridad
Libre	0,40	0,27	0,67	1
Propietario	0,20	0,13	0,33	2
Suma			1,00	

Se utilizará software libre para el desarrollo de la interfaz humano máquina, de esta manera se asegura que no habrá ningún problema legal debido a la adquisición de licencias para el dueño de la hacienda, además de la evaluación realizada.

El software libre que se escogió para trabajar es Processing, un entorno de desarrollo basado en java, el cual tiene una gran compatibilidad con la tarjeta Arduino, además cuenta con mucha documentación en internet sobre como programar en este entorno de desarrollo.

En la figura 27 se muestra un diagrama de flujo de como trabajará la interfaz humano máquina.

El software al ser ejecutado presenta una ventana en el computador, se muestra la fecha hora y valores de las variables de temperatura y humedad, además de un mensaje en el que se indica que para salir se debe presionar cualquier tecla, en caso de que se reciba información por el puerto serial se actualizará el valor de las variables y se presentará en pantalla, se almacenará esta información mientras el programa este en ejecución, en caso de que se presione una tecla con la ventana de la interfaz humano maquina abierta, el software se cerrará.



Figura 27: Diagrama de flujo de la Interfaz Humano Máquina

3.5. Diseño de placas electrónicas

En base a los diagramas de conexión se necesita establecer como serán las placas impresas para el funcionamiento del prototipo, para lo cual se utilizará dos diferentes herramientas de software una es Fritzing, éste programa permite crear placas compatibles con los pines de conexión de Arduino, lo que se denomina shield, y también se usará el programa Proteus.

No todos los elementos irán integrados en la placa por lo que se utilizará conectores para su funcionamiento.

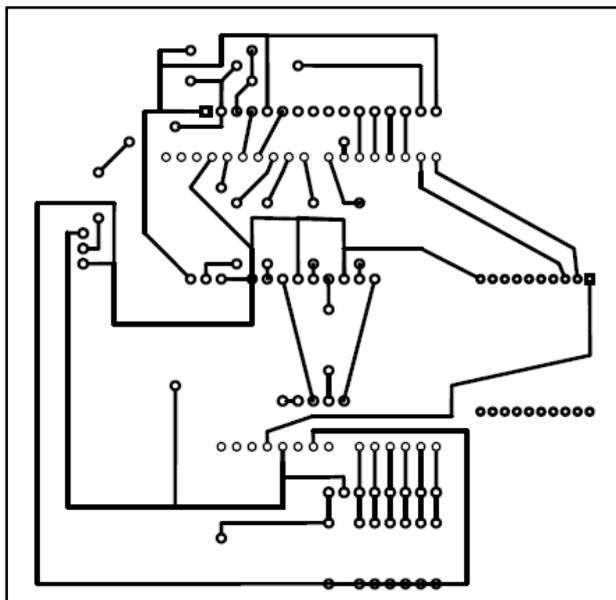


Figura 29: Pistas de la placa del módulo remoto

Los pulsadores no se encuentran en la librería para la creación de la placa electrónica, se debe usar el software ARES de Proteus, en el cual se tiene tamaños estándares para la separación de los pines de los elementos.

Se tomó la medida de los pulsadores, son cuadrados y miden 11.5 milímetros por lado, la separación entre sus pines es 5 milímetros en el par más cercano y 12.5 milímetros en el par de pines más alejado.

Con estos valores se establece la configuración en que se colocarán los pulsadores, como se ve en la figura 30.

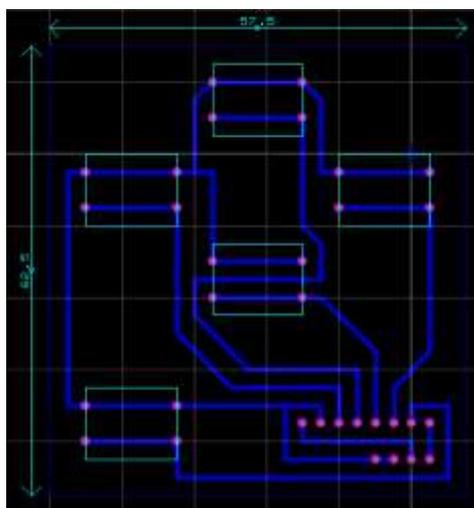


Figura 30: Diagrama de impresión de placa del teclado para el módulo remoto

El diagrama de conexión de la figura 32 se verá impreso en la placa como la figura 33, éste es el circuito representado en la figura 25 presentado anteriormente.

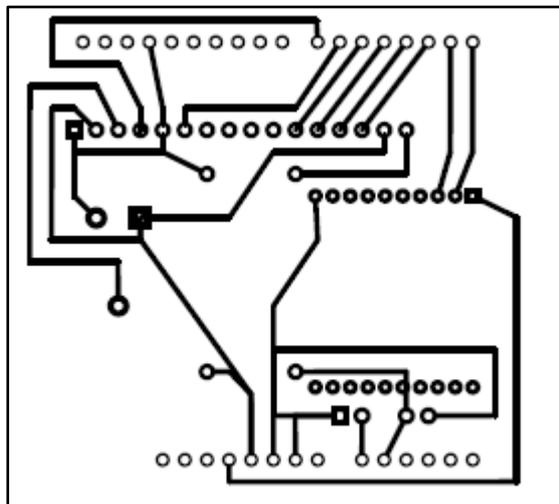


Figura 33: Pistas del módulo base

CAPÍTULO 4

4. Implementación

4.1.Módulo remoto

Para obtener la medición de las variables temperatura y humedad se ha utilizado una protección para el sensor, que permita el flujo de aire y provea sombra, de esta manera se obtiene un valor real de la temperatura ambiente y a su vez permite el ingreso de humedad.

La protección está hecha de plástico con la ayuda de una impresora 3D, el modelo para la impresión fue obtenido de un repositorio virtual de diseños 3D denominado Thingiverse, se lo realizó en color blanco de esta manera no trabaja como un cuerpo negro que almacena radiación de calor, como se ve en las figuras 34 y 35.



Figura 34: Protección del sensor de humedad y sensor de temperatura



Figura 35: Protección del sensor de humedad y sensor de temperatura

Para difuminar la luz de la tira LED se utilizó una semiesfera con la ayuda de una impresora 3D con plástico transparente y se lo ha incorporado a la tapa plástica del protector del sensor de temperatura y humedad como se muestra en las figuras 36 y 37.



Figura 36: Difusor de luz



Figura 37: Protector de sensores y difusor de luz.

En la implementación del prototipo se eligió un cajetín de plástico, el cual se muestra en la figura 38, donde se van a guardar los elementos del módulo remoto, como la batería y el subsistema de procesamiento.

La caja debe ser plástica para facilitar la transmisión de radiofrecuencia y no provocar ninguna interferencia.



Figura 38: Cajetín plástico.

Para sujetar la batería se utilizó una estructura plástica, hecha con la ayuda de una impresora 3D, con esta estructura se fijará la batería de manera que esté inmovilizada dentro del cajetín, la estructura se puede observar en las figuras 39 y 40.



Figura 39: estructura plástica para batería.



Figura 40: Estructura plástica dentro del cajetín.

También se usó un panel, hecho mediante impresión 3D, en el cual se ubicará la pantalla LCD, donde se mostrará la información de las variables climáticas y también los días programados para los tiempos de producción, establecidos por el agricultor, esta programación se hará mediante botones ubicados en el panel, como se muestra en las figuras 41 y 42.



Figura 41: Cajetín con panel de configuración.



Figura 42: Panel de configuración.

El regulador de carga y el transmisor Xbee se encuentran dentro de este panel junto con una baquelita de conexión que encajará sobre la tarjeta Arduino como se muestra en las figuras 43 y 44.

- 1) Entrada de pulsadores
- 2) Alimentación para la baliza
- 3) Módulo de radio frecuencia Xbee
- 4) Bus de datos para monitor LCD

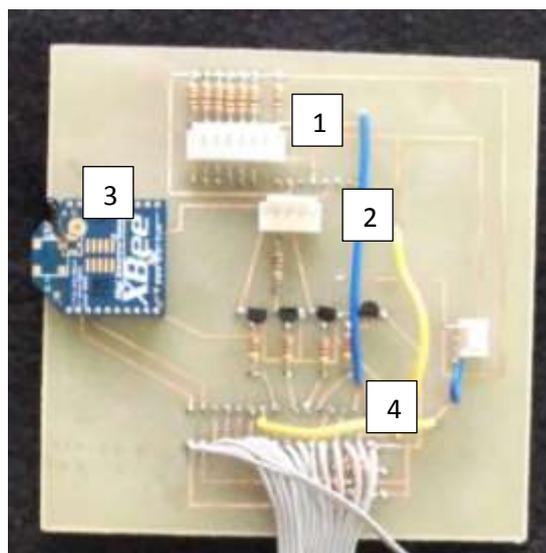


Figura 43: Baquelita de conexión del módulo remoto.

La placa se colocará sobre la tarjeta Arduino, ya que los pines de conexión coinciden permitiendo una estructura desmontable.



Figura 44: vista interior del panel de configuración.

El sensor DHT22 se encuentra ubicado fuera del cajetín, junto a la señalización visual o baliza que variará de color, como se muestra en las siguientes figuras 45, 46 y 47.



Figura 45: Indicador visual rojo.



Figura 46: Indicador visual amarillo.



Figura 47: Indicador visual verde.

Se elaboró un soporte metálico en el que se colocará todos estos elementos junto con el panel solar el cual estará ubicado en la parte superior, es necesario que nada interfiera en la luz solar que incide sobre este, el soporte metálico que se muestra en la figura 48 mide tres metros de largo, el sensor debe estar ubicado a 1.5 metros del suelo para realizar las mediciones y el resto del soporte estará enterrado como se muestra en la figura 49.



Figura 48: Soporte metálico del módulo remoto.

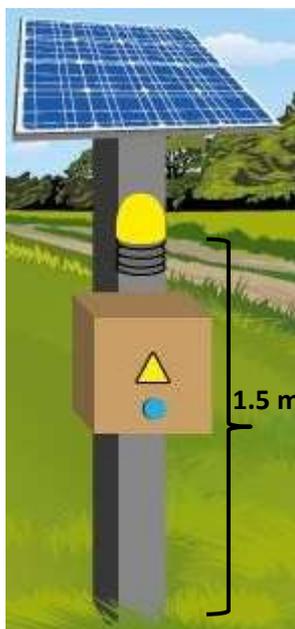


Figura 49: Distancia de los sensores a tierra.

Debido al tamaño, en la figura 50 se muestra el cajetín, el sensor y el panel solar implementado pero fuera del soporte metálico.



Figura 50: Módulo remoto.

4.2. Módulo base

El módulo base se encontrará ubicado en la oficina de la “Hacienda la Cantora”, en el cual se presentará la información de temperatura ambiente y humedad relativa del cultivo, dicha información se actualizará cada 5 segundos.

El módulo remoto se encuentra de una caja elaborada con la ayuda de una impresora 3D como se puede ver en la figura 51, donde se alojará el receptor de radio frecuencia que recibirá la información, una pantalla LCD, una sirena, un pulsador y el microcontrolador.

En el caso de que se presente una helada sonará la alarma mediante la sirena instalada en el interior de la caja, el pulsador será utilizado para apagar de forma manual la alarma por el agricultor mostrado en la figura 52.



Figura 51: Caja impresa del módulo base.



Figura 52: Módulo base.

Al igual que en el módulo remoto, en el módulo base la placa electrónica se diseñó para que encaje en los pines de conexión de la tarjeta Arduino permitiendo que sea desmontable, se puede observar el interior de la caja en la figura 53.

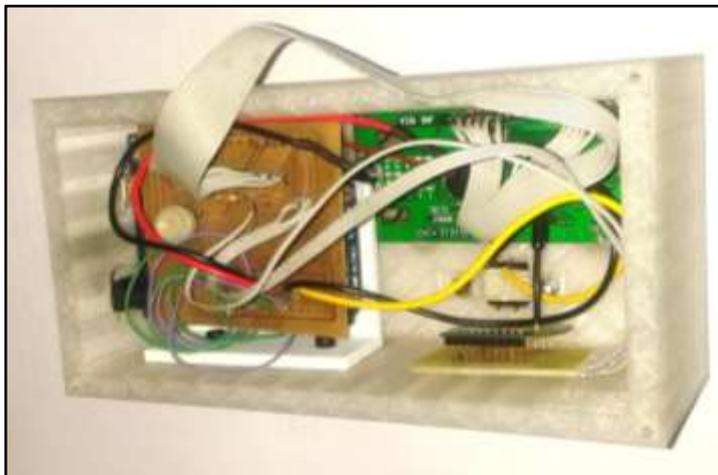


Figura 53: Vista interior del módulo base montado

4.3. Interfaz Humano Máquina

La interfaz humano máquina se desarrolló pensando en el usuario, quien requiere poder verificar la información en el instante que desee, y además le permita almacenar la información como un archivo histórico, por lo que se ha desarrollado una ventana de interfaz pequeña, de tal manera que al ejecutar el programa la ventana no interrumpa las actividades del administrador, como se muestra en la figura 44.

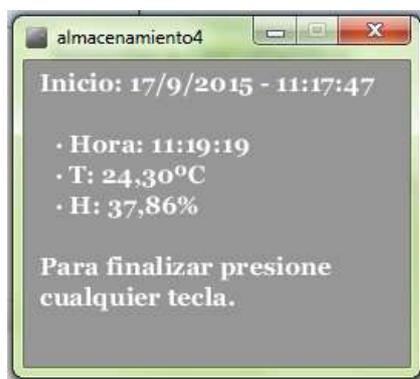
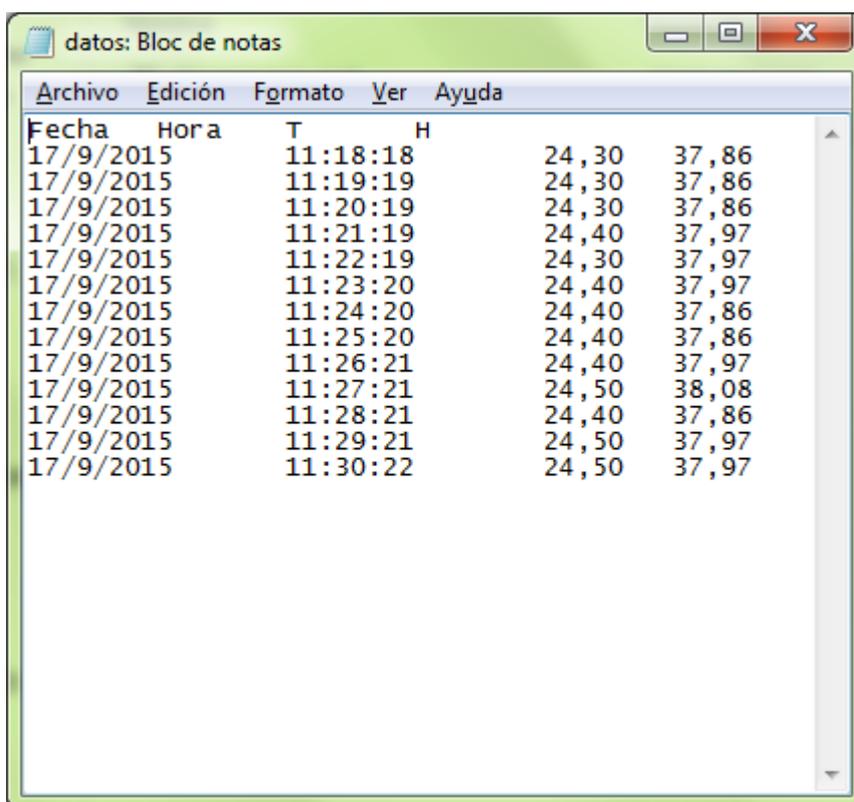


Figura 54: Interfaz Humano Máquina

El programa se realizó utilizando software libre de esta manera no se genera ningún problema por uso de licencias para el desarrollo del presente proyecto, utilizando como base de desarrollo el software “Processing 2.2.1”.

El programa se lo adjunta en el Anexo E, este software crea un documento de texto que puede ser leído fácilmente como se muestra en la figura 45, el cual puede ser trasladado a un documento Excel de ser necesario para evaluar la información.



The image shows a Notepad window titled "datos: Bloc de notas" containing a table of data. The table has four columns: "Fecha", "Hora", "T", and "H". The data consists of 14 rows of records, all dated 17/9/2015, with varying times and numerical values.

Fecha	Hora	T	H
17/9/2015	11:18:18	24,30	37,86
17/9/2015	11:19:19	24,30	37,86
17/9/2015	11:20:19	24,30	37,86
17/9/2015	11:21:19	24,40	37,97
17/9/2015	11:22:19	24,30	37,97
17/9/2015	11:23:20	24,40	37,97
17/9/2015	11:24:20	24,40	37,86
17/9/2015	11:25:20	24,40	37,86
17/9/2015	11:26:21	24,40	37,97
17/9/2015	11:27:21	24,50	38,08
17/9/2015	11:28:21	24,40	37,86
17/9/2015	11:29:21	24,50	37,97
17/9/2015	11:30:22	24,50	37,97

Figura 55: Documento de registro.

CAPÍTULO 5

5. Pruebas y Resultados

5.1.Pruebas

Para el presente proyecto se realizará 4 pruebas con el fin de verificar el funcionamiento del prototipo.

- Prueba de funcionamiento en un ambiente controlado.
- Prueba de funcionamiento en un ambiente real.
- Prueba de la distancia de transmisión entre los módulos base y remoto.
- Prueba de autonomía del módulo remoto.

5.1.1. Prueba de funcionamiento en un ambiente controlado

Para la realización de la prueba en un ambiente controlado se solicitó el permiso para usar el laboratorio de meteorología del INAMHI donde no solo se realizó las pruebas sino también la calibración del equipo.

Las pruebas de humedad se realizaron en el equipo “Generador de Humedad 2500” del fabricante Thunder Scientific Corporation, el equipo se puede ver en la figura 56 y 57, en la parte derecha de la figura 56 se encuentra el cajetín del módulo remoto, en la parte interior del generador de humedad se encuentra el sensor patrón y el sensor del prototipo como se observa en la figura 57.

Para la prueba de humedad se tomarán 4 mediciones diferentes, los valores serán programados en el ambiente controlado y se comparará los valores obtenidos por el sensor patrón y el sensor del dispositivo, si el error existente entre los dos sensores es muy alto se deberá hacer una corrección.



Figura 56: Generador de humedad 2500.



Figura 57: Sensor de humedad y sensor patrón.

Las pruebas de temperatura se realizarán utilizando el equipo “Metrology Well” del fabricante Fluke, en la figura 58 se puede ver el equipo de pruebas junto al prototipo, en la figura 59 se muestra la cavidad donde ingresan los sensores, tanto el sensor patrón como el sensor DHT22.

De igual manera se establecerán valores para el ambiente controlado y se verificará estos valores con un sensor patrón y el sensor del prototipo, en este caso el ambiente controlado permite realizar una cantidad mayor de medidas debido a la rapidez de reacción del equipo Fluke.



Figura 58: Equipo de calibración Fluke.



Figura 59: acercamiento del equipo de calibración Fluke.

5.1.2. Prueba de funcionamiento en un ambiente real

Una vez realizadas las pruebas dentro del ambiente controlado se solicitó al instituto nacional de meteorología e hidrología INAMHI la información de la estación meteorológica automática Ñaquito, para comparar las mediciones obtenidas por el prototipo y las obtenidas por la estación meteorológica, para realizar esta prueba se ubicó el prototipo junto a la estación meteorológica para comparar la información dentro del mismo microclima, en la figura 60 se ve al prototipo sobre la estación meteorológica y la ubicación de los sensores de cada dispositivo, se los colocó lo más cercanos posible.



Figura 60: Estación meteorológica automática Iñaquito

También se realizó la prueba con el prototipo instalado en la “Hacienda la Cantora” para comprobar su funcionamiento durante 24 horas, se observa en la figura 61 la instalación del prototipo entre la plantación de quinua.



Figura 61: Instalación en la "Hacienda la Cantora"

5.1.3. Prueba de distancia de transmisión entre los módulos base y remoto.

Para la prueba de distancia de transmisión se debe tener en cuenta dos formas en las que puede funcionar el equipo dependiendo de donde se ubica el receptor, en el primer caso se realizó la transmisión sin línea de vista para lo que se ubicó el módulo receptor dentro de una habitación, habiendo una pared entre ambos módulos como obstáculo, y el módulo transmisor en una área abierta.

En el segundo caso se realizó una transmisión con línea de vista donde no interfiere ningún obstáculo entre el transmisor y el receptor.

5.1.4. Prueba de autonomía del módulo remoto

Para la prueba de autonomía se realizará la carga de la batería en su totalidad y se comprobará cuánto dura sin la alimentación del panel solar almacenando la información en el computador, se utilizó un cargador de baterías marca Century, que se muestra en la figura 62, el cual permite realizar una adecuada carga sin exponer dicha batería a daños por exceso de energía.



Figura 62: Cargador de baterías

5.2. Resultados

5.2.1. Resultados de funcionamiento en un ambiente simulado.

Los valores que se obtuvieron de la prueba para el sensor de humedad fueron los que se muestra en la tabla 57, donde se observa valores de error mayores a al rango establecido por el fabricante.

Tabla 57
Lecturas de humedad sin corrección.

#	Lectura	Patrón	Error
1	21,90%	20,38%	1,52%
2	35,70%	35,06%	0,64%
3	48,80%	49,86%	-1,06%
4	72%	74,94%	-2,94%

El instituto nacional de meteorología e hidrología, para el presente proyecto facilito los coeficientes de calibración a_0 y a_1 , que se muestran a continuación, y que se remplazaran en la fórmula de corrección.

$$\text{lectura corregida} = (a_1 \times \text{lectura actual}) + a_0$$

Dónde:

$$a_0 = -3,637$$

$$a_1 = 1,092$$

Aplicando esta fórmula dentro del programa de la adquisición de datos se obtuvo los datos de la tabla 58, donde el error en ninguno de los casos supera el 2%, valor que es especificado por la hoja técnica del sensor DHT22.

Tabla 58
Lecturas de humedad con corrección.

#	Lectura	Patrón	error
1	19,40%	20,79%	1,39%
2	33,82%	35,12%	1,30%
3	48,01%	49,77%	1,76%
4	75,75%	74,41%	-1,34%

Adicionalmente en los anexos I y J, se muestra la certificación otorgada por el INAMHI sobre el funcionamiento del sensor de humedad y temperatura respectivamente.

Los valores obtenidos para la lectura de temperatura en el ambiente controlado se muestran en la tabla 59, en este caso no se realizó ninguna calibración ya que las medidas están dentro del rango de error especificado por el fabricante.

Tabla 59:
Lecturas de temperatura

#	Lectura (°C)	Patrón (°C)	Error (°C)
1	-9,50	-9,89	0,39
2	0,20	0,04	0,16
3	10,10	10,04	0,06
4	19,70	19,90	-0,20
5	29,80	29,97	-0,17
6	39,60	39,94	-0,34

5.2.2. Resultados de funcionamiento en un ambiente real.

Se realizó dos pruebas en ambiente real, la primera, que fue realizada junto a la estación meteorológica automática Ñaquito, se hizo esta prueba con el propósito de comparar entre los valores obtenidos por el prototipo y la estación meteorológica.

Teniendo como resultado la figura 63, donde la lectura de campo corresponde a la lectura de la estación meteorológica automática Ñaquito, y referencia es la lectura tomada por el prototipo, esto se debe a que al haberse realizado previamente la calibración del prototipo en los laboratorios de metrología y haber pasado la certificación, las lecturas de este son tomadas como referencia ante un equipo que no ha sido calibrado recientemente.

Como se puede observar, existe una diferencia evidente entre las dos lecturas, en el anexo F se muestra que la diferencia promedio entre las dos lecturas es de 2 grados por lo que estas se siguen considerando dentro de los rangos admisibles para los equipos según el instituto nacional de meteorología e hidrología.

Estas lecturas corresponden a doce horas de toma de datos, denominado lectura larga, se realizó desde las quince horas con treinta y un minutos del día 8 de septiembre de 2015 hasta las quince horas con treinta y un minutos del día 9 de septiembre de 2015.

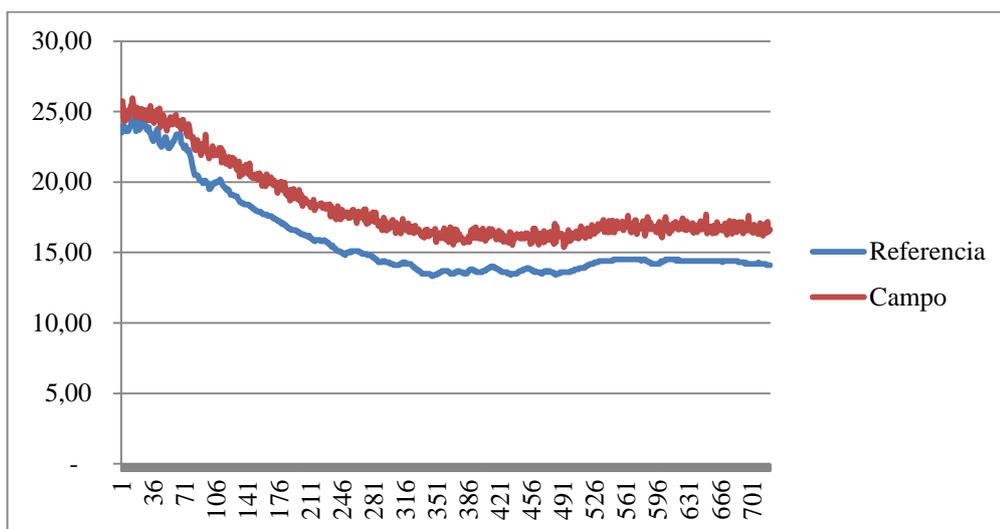


Figura 63: Comparación de temperatura en ambiente real

De igual manera se obtuvo los datos representados en la figura 64 para la lectura de humedad relativa, como se observa la diferencia entre las lecturas es muy pequeña.

Estas lecturas corresponden a la misma hora y fecha mencionada anteriormente para la lectura de temperatura.

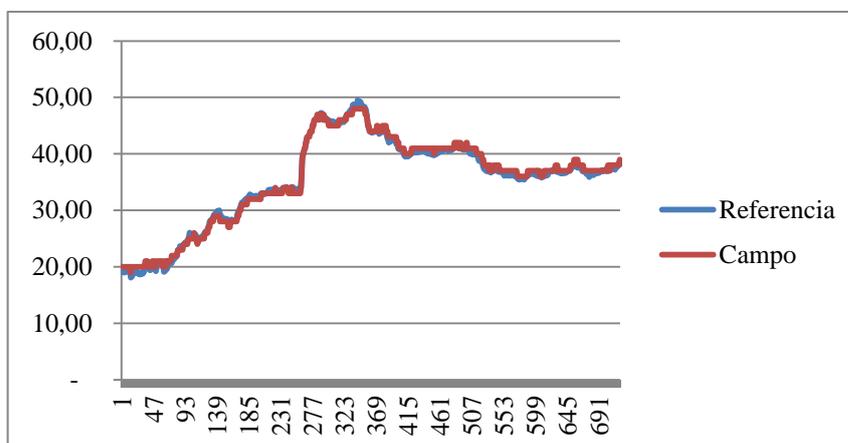


Figura 64: Comparación de humedad en ambiente real

La segunda prueba se realizó instalando el prototipo en el lugar donde será implementado el proyecto, se muestra el comportamiento de las variables durante veinticuatro horas en la “Hacienda la Cantora”.

En la figura 65 se muestra el comportamiento de la temperatura ambiente medida desde las catorce horas en punto del día 12 de septiembre de 2015, hasta las catorce horas en punto del día 13 de septiembre de 2015.

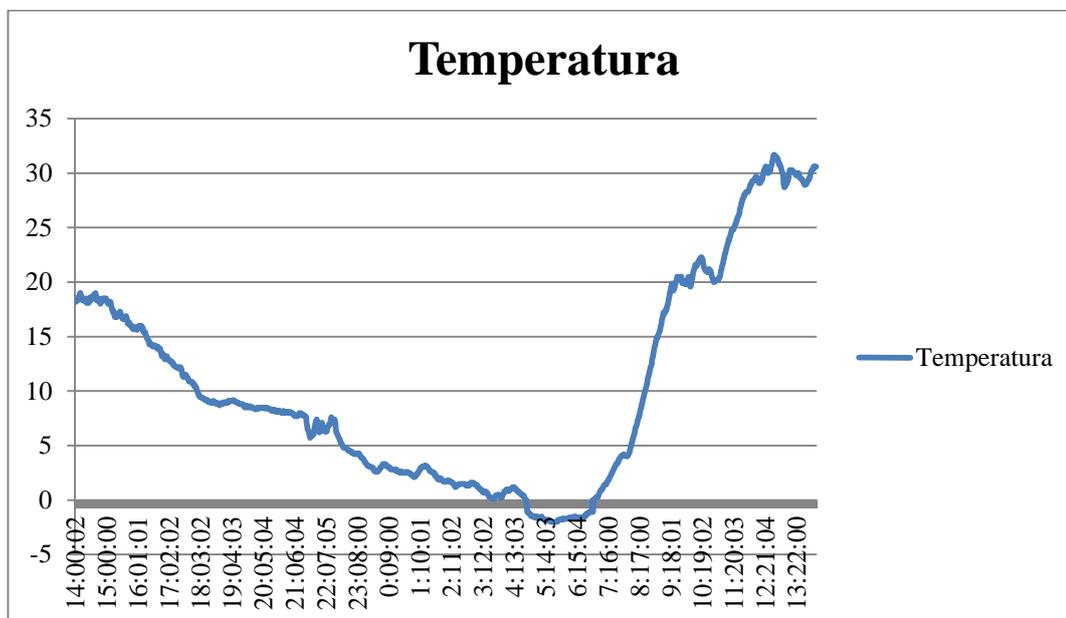


Figura 65: Temperatura ambiente

En la figura 66 se muestra la variación de la humedad relativa medida desde las catorce horas en punto del día 12 de septiembre de 2015, hasta las catorce horas en punto del día 13 de septiembre de 2015.

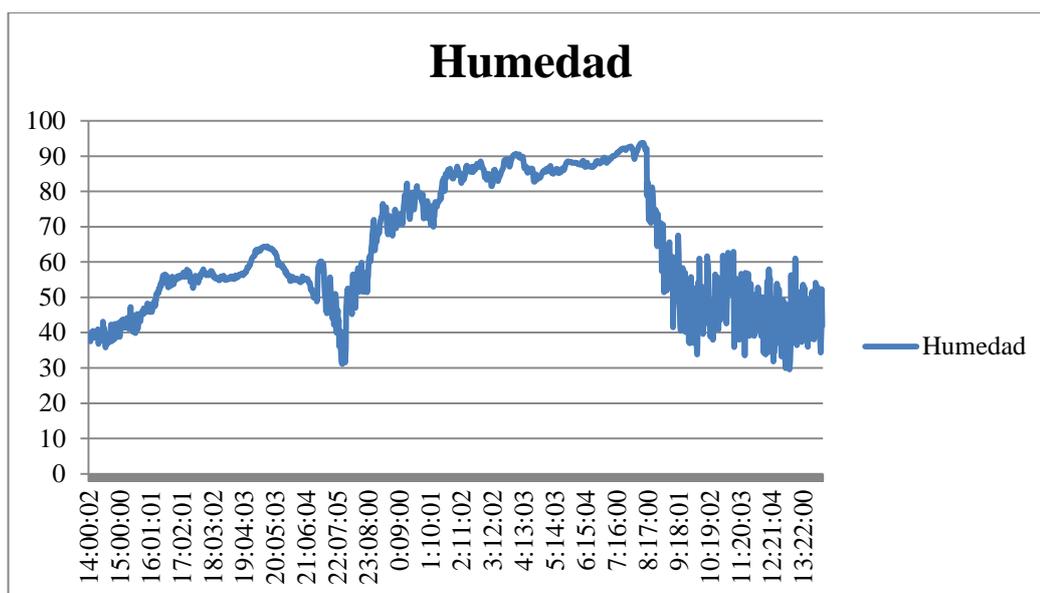


Figura 66: Humedad relativa

En la figura 67 se muestra la variación de la temperatura de punto de rocío calculada desde las catorce horas en punto del día 12 de septiembre de 2015, hasta las catorce horas en punto del día 13 de septiembre de 2015.

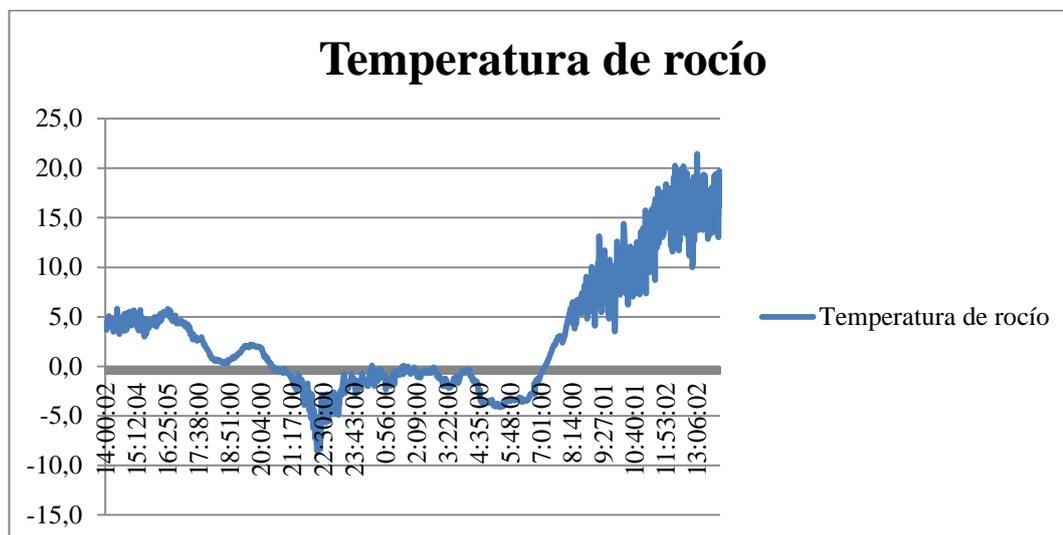


Figura 67: Temperatura de punto de rocío

Finalmente en la figura 68 se muestra el comportamiento de la temperatura ambiente y temperatura de punto de rocío donde se observa que se presentó una helada durante la noche entre las 4 horas y las 7 horas de la mañana, horario durante el cual estuvo activada la alarma del módulo base ya cumple con las condiciones:

- La temperatura de punto de rocío es menor a la temperatura ambiente
- La temperatura ambiente es menor a 0°C.

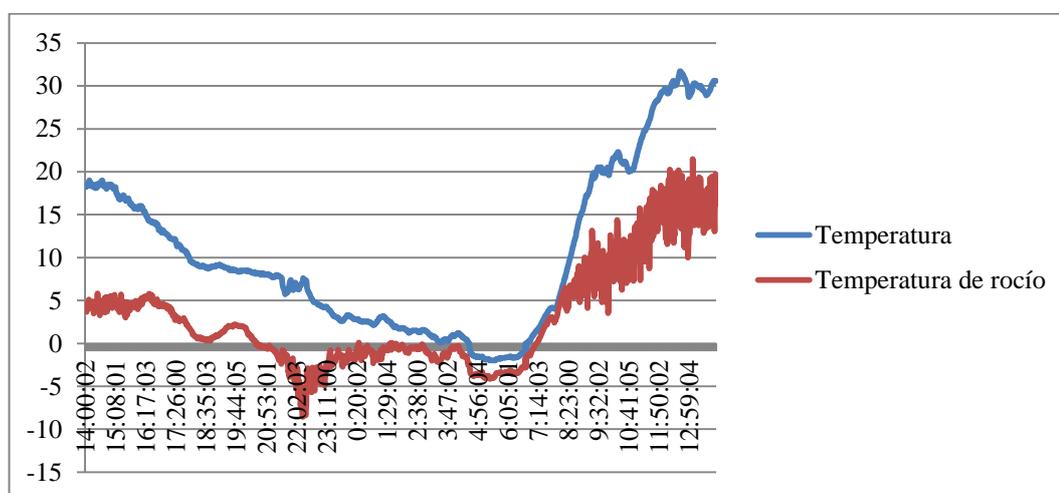


Figura 68: Temperatura ambiente y temperatura de punto de rocío

5.2.3. Resultados de la distancia de transmisión entre los módulos base y remoto.

Durante las pruebas de distancia como resultados se obtuvo dos distancias muy diferentes para cada prueba, tanto con línea de vista como sin línea de vista, los cuales se muestran en la tabla 60.

Tabla 60

Distancia de transmisión

Prueba	Distancia (m)
Sin línea de vista	52
Con línea de vista	126

5.2.4. Resultado de autonomía del módulo remoto.

La prueba se la realizó cargando la batería totalmente con un cargador de baterías CENTURY, posteriormente se puso en funcionamiento el prototipo desconectando el panel solar.

Se registró la medición de las variables iniciales y finales, la prueba se hizo dentro de la oficina del administrador de la hacienda, obteniendo como resultado los datos que se muestran en la tabla 61.

Tabla 61.

Resultados de autonomía del módulo remoto

	Fecha	Hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Inicio	14/09/2015	7:42:59	19,40	28,14
Final	17/09/2015	3:42:20	17,20	48.01

Dando como un total de autonomía de 68 horas de trabajo con 39 segundos para el módulo remoto.

5.3. Análisis Costo-Beneficio.

Para este análisis se utilizó la información proporcionada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca, en el documento de Estructura de

Costos de Producción de Quinua, estos datos fueron recibidos el 18 de septiembre del 2015 donde se hace una evaluación de actividades y productos utilizados por hectárea, estableciendo las cantidades que se requiere y el costo de cada una de ellas.

Los valores se los obtuvieron en la agencia de Machachi del MAGAP ya que es la ciudad de producción de la “Hacienda la Cantora”, y se muestran en la tabla 62.

Tabla 62:

Costos de producción de quinua

ACTIVIDADES/PRODUCTOS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Arada	Hora	6	15	90
Rastrada	Hora	12	15	180
Surcado	Hora	2	15	30
Tiller	Hora	3	17	51
Aporque	Hora	3	20	60
Trillada	Hora	16	20	320
Siembra	Jornal	5	16	80
Aplicación de fertilizante	Jornal	3	16	48
Controles fitosanitarios	Jornal	6	16	96
Cosecha	Jornal	15	16	240
Poscosecha	Jornal	8	16	128
Semilla certificada	sacos de 15kg	1	43,5	43,5
Fertilización edáfica	sacos de 50kg	4	45	180
Fertilización foliar	Litro	0,5	15	7,5
Regulador y fijador	Litro	0,5	7	3,5
Insecticidas	Litro	1	26,95	26,95
Fungicidas	Litro	1	28	28
Fungicidas	kg	1	15	15
Enraizantes	Litro	1	12	12
Sacos	Kit	35	0,2	7
Pirola nylon	Rollos	1	3	3
fletes de insumos y semilla	Flete de compras	1	50	50
fletes de producción en quintales	Flete de ventas	35	1	35
Tasas, contribuciones, derechos	Ingresos	8	2	16
Póliza de seguro agrícola		16%	40%	115,53
Total				1.865,98

Cada hectárea da un rendimiento estimado de 35 quintales, a un costo de 80,00 dólares cada quintal ya para la venta al público.

La información brindada por el MAGAP muestra que el productor de quinua recibe un total de dinero de 2800,00 dólares por cada hectárea sembrada, si a esto se le resta la inversión de 1865,98 dólares se tiene que la utilidad al finalizar la producción es de 934,02 dólares.

Al no tener un sistema de monitoreo climático la plantación está expuesta a daños debido a sequias o heladas en el sector sierra de nuestro país, la quinua es una planta que resiste en cierta medida a los daños climáticos.

Se puede llegar a tener una pérdida de tamaño en cada uno de los granos si la helada se presenta en las etapas más próximas a la cosecha lo que representa menor peso en el producto, de igual manera la disminución de peso representa pérdidas de dinero para el agricultor, o una pérdida total si esta se presenta en la etapa de germinación.

El costo del prototipo se lo evaluó en función de los materiales utilizados para su desarrollo como se lo puede ver en la tabla 61.

El prototipo puede evitar que se pierda la inversión que se ha hecho en la producción de quinua, además que el productor al no perder su cultivo obtendrá ganancias de su cosecha.

Teniendo en cuenta que el elemento que más sufre desgaste en el prototipo es la batería, sin embargo las baterías recargables tienen una vida útil aproximada de entre 4 a 5 años.

La quinua es un cultivo de rotación semestral por lo que en los 4 años de duración de la batería se habrán realizado 8 producciones en la misma hectárea, el costo de desarrollo si se lo divide por el número de cosechas en que se usaría el prototipo sería de 73.23 dólares, por cada cosecha.

Tabla 63:
Costo de implementación del prototipo

Cantidad	Material	P. Unitario	P. Total
1	RGB 2W	2,50	2,50
1	Movilización	60,00	60,00
1	Switch	0,27	0,27
5	Resistencia	0,20	1,00
1	Sensor DHT22	10,00	10,00
1	Proto wish	3,79	3,79
1	Estructura	40,00	40,00
1	1K plástico	30,00	30,00
1	Panel solar	46,25	46,25
1	controlador de carga	27,00	27,00
1	Batería seca 12v 7 ^a	26,00	26,00
1	Módulo Ethernet	25,00	25,00
2	Arduino Leonardo	35,63	71,26
2	Xbee 2S	36,61	73,22
2	espadines hembra	0,45	0,90
1	jack fuente	0,36	0,36
4	2N3904	0,70	2,80
1	Explores Xbee	31,70	31,70
2	LCD 20x4	16,07	32,14
1	caja plástica	27,00	27,00
5	pulsador	0,26	1,30
1	cable para protoboard	3,57	3,57
1	Memoria 4G	7,00	7,00
	Subtotal		523,06
	IVA		62,77
	TOTAL		585,83

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- El uso del prototipo para el monitoreo permitirá que la presencia de una helada no represente una pérdida sustancial para el cultivo de quinua, por lo que durante los meses de invierno esta herramienta permitirá tener un mejor control sobre la producción.
- Los registros históricos y la representación gráfica sobre el comportamiento ambiental ayudaron al administrador de la Hacienda la Cantora, a confirmar la importancia de un sistema de riego por aspersión, sistema con el cual el administrador contrarresta los daños por heladas.
- Al establecer tiempos de producción para la señalización visual el encargado de la hacienda puede enfocar su atención en tareas administrativas, confiando en que se realizarán las tareas como el rastrado, surcado o fertilización, entre otras, adecuadamente por los trabajadores.
- En Ecuador la tecnología no es vista como una herramienta para el sector agrícola debido al desconocimiento de la mayoría de agricultores, sin embargo al crear una herramienta que tenga una gran facilidad de uso y que aporte mucho valor para esta industria el agricultor deja de presentar resistencia a la adopción de nuevas tecnologías.

6.2. Recomendaciones

- La distancia de transmisión es un factor importante por lo que se recomienda buscar un protocolo de comunicación que permita mayor alcance entre los dos módulos.
- Es recomendable realizar un muestreo con intervalos más prolongados durante el día para disminuir el consumo de energía ya que existirá menor probabilidad de que la temperatura presente valores críticos para el cultivo.
- Se recomienda no solo alertar al agricultor, como fue el requerimiento para el presente proyecto sino también actuar de forma automática para lograr una solución efectiva contra los daños que se podrían producir por efectos climáticos.

Bibliografía

- Blázquez, J. P. (20 de Mayo de 2015). *Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos. exabyteinformatica*. Recuperado en [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_\(Modulo_1\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_1).pdf)
- Martínez Barrera, L., Ibacache Gonzáles, A., & Rojas Parra, L. (2007). *Las Heladas en la Agricultura*. La Serena: Trama Impresores S.A.
- SINAGAP, (23/03/2015). *Estructura de costos de producción de quinua*, Recuperado en <http://sinagap.agricultura.gob.ec/costos/quinua.pdf>
- Food and Agriculture Organization, (s.f.). *Daños por las heladas y temperaturas bajas*. Recuperado el 30 de junio de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/012/y7223s/y7223s05.pdf>
- Morales, D. Vacher, J. (1992). *Los riesgos de las heladas en el altiplano boliviano. Actas del VII congreso internacional sobre cultivos andinos*. Recuperado en http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-11/38556.pdf
- Pinto, M. (2013). *El cultivo de la quinua y el clima en el Ecuador*. Estudios e Investigaciones Meteorológicas INAMHI-Ecuador. Recuperado en <http://186.42.174.231/meteorologia/articulos/agrometeorologia/El%20cultivo%20de%20la%20quinua%20y%20el%20clima%20en%20el%20Ecuador.pdf>
- Pedregal, E. (2009). *La Quinua en Ecuador Estado del Arte. INIAP*. Recuperado en <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/ESTADO%20DEL%20ARTE%20QUINUA%202.pdf>
- Vásconez, F. *Diseño e Implantación de un prototipo de estación de medición de parámetros meteorológicos para su incorporación en una red extendida de monitorización ambiental*. Repositorio Digital EPN. Recuperado en <http://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=9531>
- MetAs & Metrólogos Asociados. (2008). *Sensores de humedad tipos y aplicaciones*. Recuperado en <http://www.metas.com.mx/guiamet/la-guia-metas-08-05-sensores-de-humedad.pdf>
- Henríquez, C. (2003). *Regulador de Panel Solar -Batería-Carga con microcontrolador PIC*. Repositorio Institucional Pirhua. Recuperado en http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1383/IME_076.pdf?se
- Solid OPD. (2010). *Tecnología Productiva de la Quinua Programa modular para el manejo técnico del cultivo de quinua*. Recuperado en <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/TECNOLOG%20C3%8DA%20PRODUCTIVA%20DE%20LA%20QUINUA.pdf>

Anexos