

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE HELADAS PARA PLANTACIÓN DE
CULTIVO DE PAPAYAS**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero de Ejecución en CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Sebastián Ricardo Pérez Figueroa

Profesor Guía:

Mag. Víctor Cárdenas Schweiger

RESUMEN

KEYWORDS: COMUNICACIÓN, MONITOREO, LORA, ESP32, TEMPERATURA.

El impacto de las heladas en la agricultura representa un desafío significativo, especialmente en cultivos sensibles como el de papayas, donde las bajas temperaturas pueden ocasionar pérdidas irreparables. Tradicionalmente, los agricultores han recurrido a métodos manuales, como el uso de fogatas y la vigilancia constante, para proteger sus cultivos. Sin embargo, estos métodos son arduos, poco eficientes y demandan una gran inversión de tiempo y esfuerzo.

En este contexto este trabajo de título presenta el diseño de un sistema de control y monitoreo de heladas para la plantación de un cultivo de papayas, donde surge la necesidad de desarrollar un sistema de control y monitoreo que aproveche tecnologías avanzadas para enfrentar este problema de manera más efectiva. Este proyecto propone un enfoque innovador mediante el uso de sensores de temperatura, microcontroladores Esp32 y módulos de comunicación LoRa, lo que permite supervisar las condiciones climáticas en tiempo real y actuar de manera automatizada frente a situaciones de riesgo. Al incorporar funcionalidades como la activación remota del sistema de riego y la visualización gráfica de datos, este sistema busca optimizar los recursos agrícolas, reducir la dependencia de métodos tradicionales y mejorar la calidad y productividad de los cultivos.

Además, se presenta un análisis económico del proyecto, permitiendo no solo demostrar la funcionalidad del sistema, sino que también evaluar si su implementación resulta una inversión estratégica para los agricultores.

Con este proyecto, se busca no solo mitigar los efectos adversos de las heladas, sino también proporcionar a los agricultores herramientas tecnológicas que simplifiquen sus tareas diarias y les permitan tomar decisiones estratégicas a largo plazo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	2
1 ANTECEDENTES GENERALES.....	3
1.1 CONTEXTO DEL CULTIVO DE LA PAPAYA CHILENA.....	3
1.1.1 Leyenda sudamericana.....	3
1.1.2 Materia prima (la papaya).....	4
1.1.3 Partes y características de la papaya	4
1.1.4 Usos y beneficios	5
1.1.5 Reseña histórica	6
1.1.6 Ubicación geográfica	6
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.2.1 ¿Que son las heladas?	7
1.2.1.1 Clasificación de las heladas	8
1.2.1.2 Registro de helada.....	8
1.2.2 Definición del problema	9
1.2.2.1 Identificación del problema	9
1.2.2.2 Consecuencias del Problema.....	11
1.2.2.3 Causas del problema	11
1.2.3 Importancia de resolverlo	12
1.2.4 Involucrados	12
1.3 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.3.1 Control pasivo.....	12
1.3.2 Control activo	13
1.3.3 Requerimientos	13
1.3.4 Alternativas de solución	13
1.3.4.1 Alternativa 1: Realizar una mejora a método existente	14
1.3.4.2 Alternativa 2: Uso de cubiertas sobre los cultivos	14
1.3.4.3 Alternativa 3: Torres de ventilación o turbinas de aire.....	15
1.3.4.4 Alternativa 4: Riego por aspersion automatizado.....	16
1.3.5 Evaluación de las alternativas de solución.....	16
1.3.5.1 Alternativa seleccionada	17
1.3.6 Valor agregado	17

1.3.7	Objetivos del proyecto	18
1.3.7.1	Objetivo General	18
1.3.7.2	Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO 2: ESTUDIO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN		19
2	ESTUDIO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN.....	20
2.1	ESQUEMA GENERAL DE LA SOLUCIÓN Y SUS PRINCIPALES COMPONENTES.....	20
2.1.1	Esp32 Devkit v1 30 Pines USB-C/MicroUSB	22
2.1.2	Lora SX1278	23
2.1.3	Sensor de temperatura DS18b20	26
2.1.4	Sensor de humedad.....	27
2.1.5	Relé.....	28
2.1.6	Bomba de agua.....	30
2.1.7	Contactador trifásico	31
2.1.8	Electroválvula	32
2.2	ENERGIZACIÓN DEL SISTEMA LECTOR Y EMISOR DE DATOS	33
2.2.1	Panel solar	34
2.2.1.1	Radiación solar.....	34
2.2.1.2	¿Como medir la radiación solar?.....	35
2.2.1.3	Energía fotovoltaica.....	35
2.2.1.4	Composición de un panel fotovoltaico.....	35
2.2.1.5	Tipos de celdas fotovoltaicas	37
2.2.1.6	Fabricación de las células fotovoltaicas	37
2.2.1.7	Desempeño de los módulos	38
2.2.1.8	Rendimiento del panel	39
2.2.2	Regulador de carga.....	39
2.2.2.1	Parámetros y características	40
2.2.2.2	Funcionamiento de un regulador de carga	41
2.2.3	Protección DC	42
2.2.4	Batería	43
2.3	PROGRAMACIÓN Y CONEXIÓN.....	44
2.3.1	Prototipo de dispositivo lector de datos y emisor	44
2.3.2	Prototipo de dispositivo receptor de datos y controlador	45
2.4	SISTEMA DE MONITOREO	46
2.5	PRUEBAS DE MEDICIÓN DEL PROTOTIPO	48
2.5.1	Prueba antena 1,5dbi	48

2.5.2	Prueba antena 2dbi	49
2.5.3	Prueba antena 3dbi	50
2.5.4	Prueba antena 7dbi	51
2.5.5	Prueba antena 7dbi a 4mts de altura.....	52
2.5.6	Prueba antena 7dbi a 4mts de altura a línea vista.....	53
CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO		55
3	ESTUDIO ECONÓMICO.....	56
3.1	DETERMINACIÓN DE COSTOS.....	56
3.1.1	Costos de diseño	57
3.1.1.1	Costos materiales de diseño	58
3.1.1.2	Costos mano de obra de diseño HH.....	59
3.1.2	Costos de implementación.....	59
3.1.2.1	Costos materiales de implementación.....	60
3.1.2.2	Costos mano de obra de implementación HH	61
3.1.3	Costo total del proyecto.....	62
3.2	ANÁLISIS FINANCIERO	63
3.2.1	Indicadores financieros	65
3.2.2	Flujo de caja proyectado	66
3.3	EVALUACIÓN DE OBJETIVOS.....	69
CONCLUSIONES.....		70
BIBLIOGRAFÍA.....		71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1:	Papaya- lágrimas de oro.....	3
Figura 1- 2:	Vasconcellea pubescens ó papaya.....	4
Figura 1- 3:	Planta de papaya.....	5
Figura 1- 4:	Vista aérea del terreno.....	7
Figura 1- 5:	Modelo Ishikawa del problema.....	11
Figura 1- 6:	Calefactor para control de heladas.....	14
Figura 1- 7:	Cubierta para plantación.....	15
Figura 1- 8:	Torre de ventilación	15

Figura 1- 9: Control de helada por sistema de aspersión	16
Figura 1- 10: Esquema general de la solución.....	18
Figura 2- 1: Esquema general de elementos del control de heladas.....	20
Figura 2- 2: Diagrama de Flujo	21
Figura 2- 3 :Placa de desarrollo Esp-wroom-32	22
Figura 2- 4: Módulo inalámbrico Lora 1278.....	24
Figura 2- 5: Pines de conexión lora SX1278	26
Figura 2- 6: Sensor de temperatura DS18B20.....	26
Figura 2- 7: Sensor de humedad HD-38 anticorrosivo	27
Figura 2- 8: Modulo relé 2 canales.....	28
Figura 2- 9: Conexión interna Modulo relé con Jumper	29
Figura 2- 10: Conexión interna Modulo relé sin Jumper.....	29
Figura 2- 11: Bomba de agua.....	30
Figura 2- 12: Contactor trifásico.....	32
Figura 2- 13: Electroválvula 3 vías	32
Figura 2- 14: Electroválvula 3 vías.....	33
Figura 2- 15: Sistema de conexión OFF-GRID.....	33
Figura 2- 16: Panel solar CX Solar P12-15 y placa característica.....	34
Figura 2- 17: Composición de panel fotovoltaico	36
Figura 2- 18: Regulador de carga TX1220	40
Figura 2- 19: Automático DC	42
Figura 2- 20: Batería HQ 12N7-3A.....	44
Figura 2- 21: Prototipo del conjunto de dispositivos lector y emisor.....	45
Figura 2- 22: Prototipo del conjunto de dispositivos receptor y controlador	46
Figura 2- 23: Dashboards de Arduino Cloud vista PC.....	47
Figura 2- 24: Monitoreo desde aplicación móvil.....	47
Figura 2- 25: Antena resorte Original del dispositivo de 1,5dBi	48
Figura 2- 26: Distancia de recepción de datos prueba 1.....	49
Figura 2- 27: Antena pequeña de 1,5dBi.....	49
Figura 2- 28: Distancia de recepción de datos prueba 2.....	50
Figura 2- 29: Monitoreo desde aplicación móvil.....	50
Figura 2- 30: Distancia de recepción de datos prueba 3.....	51
Figura 2- 31: Monitoreo desde aplicación móvil.....	51
Figura 2- 32: Distancia de recepción de datos prueba 4.....	52
Figura 2- 33: Distancia de recepción de datos prueba 5.....	53

Figura 2- 34: Distancia de recepción de datos prueba 6.....	54
Figura 2- 35: Distancia entre dispositivos lora sx1278 emisor y receptor	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1: Características nutricionales basado en 100g de parte comestible.....	6
Tabla 1- 2: Puntuación de alternativas de solución	16
Tabla 1- 3: Selección de mejor alternativa.....	17
Tabla 2- 1:Parámetros de regulador de carga.....	41
Tabla 2- 2:Energía consumida	43
Tabla 3- 1: Valor del precio de la UF	56
Tabla 3- 2: Carta Gantt del diseño del proyecto	57
Tabla 3- 3: Materiales utilizados para el diseño del proyecto	58
Tabla 3- 4: Pago a profesional por el diseño	59
Tabla 3- 5: Carta Gantt de implementación del proyecto	60
Tabla 3- 6: Dispositivos y materiales utilizados para la implementación del proyecto.....	61
Tabla 3- 7: Pagos a profesionales por la implementación	62
Tabla 3- 8: Colación por días trabajados	62
Tabla 3- 9: Costo total del proyecto	62
Tabla 3- 10: Ingreso por venta de papayas	63
Tabla 3- 11:Resumen de beneficios en cada caso.....	64
Tabla 3- 12: Valor IPC, tasa y TMAR	65
Tabla 3- 13: Tabla de Amortización de crédito	67
Tabla 3- 14: Flujo de caja del proyecto	67
Tabla 3- 15: Resultados de flujo de caja.....	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1- 1: Temperatura mínima registrada en mes de mayo por estación “el Guindo”	9
---	---

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS:

AI	: Analog Input
AO	: Analog Output
DI	: Digital Input
DO	: Digital Output
E/S	: Entrada/Salida
GPIO	: General Purpose Input/Output (entrada o salida de propósito general)
IOT	: Internet de las cosas
LCD	: Liquid crystal display
SCL	: Serial Clock Line
A/H	: Amper – Hora
USB	: Universal serial bus
IVA	: Impuesto valor agregado
VAC	: Voltaje alterno
VDC	: Voltaje directo o continuo
PCB	: Printed circuit board
ROM	: Read only memory (memoria de solo lectura)
SRAM	: Static random Access memory (memoria estática de acceso aleatorio)
RTC	: Real time clock (reloj en tiempo real)
DMIPS	: Dhrystone millions of instructions per second (millones de instrucciones por seg.)
Tipo-P	: Material semiconductor cargado positivamente
Tipo-N	: Material semiconductor cargado negativamente
Tipo P-N	: Unión de materiales Tipo-P y Tipo-N
STC	: Standar test condition (condiciones de prueba estándar)
PWM	: Modulación por ancho de pulso
MPPT	: Seguidor de punto máximo de potencia

B. SIMBOLOGÍA:

A	: Amper
mA	: Miliamper

b	: Bit
cm	: Centímetros
°C	: Grados Celsius
lts	: Litros
mm	: milímetros
mV	: milivoltios
m ³	: Metros Cúbicos
s	: Segundos.
V:	: Volts
%	: Por ciento.
Ω	: Ohm
m	: metro
dB	: Decibel
dBi	: Decibel relativo a la ganancia isotrópica
dBm	: Decibeles en miliwatts
\$: Pesos CL
Ha	: Hectárea
u.	: Unidad
g	: Gramos
mg	: Miligramo
Mhz	: Megahertz
μA	: Microamperio
Kbite	: Kilobyte
Ppm	: Modulación por posición de pulso
Km	: Kilometro
Nm	: Nanometro
°C	: Grados Celsius
kW/m ²	: Kilowatts metro entre cuadrado
W	: Watts
h	: Hora
FV	: Fotovoltaico
°F	: Grados Fahrenheit
t/ha	: Toneladas por cada hectárea
Kcal	: kilocalorías

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se basa en el diseño de un sistema que permita la detección y el control efectivo de las heladas, específicamente enfocada en el cultivo de papayas, este fenómeno climático que puede perjudicar gravemente a la producción agrícola, especialmente en cultivos sensibles como el de papayas.

Las heladas representan un riesgo significativo para los cultivos, afectando no solo la calidad y cantidad de la producción, sino también la economía de los agricultores. En este sentido, un sistema que facilite el monitoreo constante de las condiciones climáticas es esencial. Este proyecto se fundamenta en la necesidad de proporcionar a los agricultores herramientas tecnológicas que les permitan anticiparse a los daños provocados por las heladas.

Para poder mejorar las condiciones de trabajo en el sector agropecuario en el país, es necesario aplicar todas las facilidades tecnológicas que ofrece el mercado.

Para combatir este problema, surge el proyecto "Diseño de Sistema de Control y Monitoreo de Heladas para Plantación de Cultivo de Papayas". Este proyecto busca desarrollar una solución tecnológica para detectar y mitigar los efectos de las heladas en tiempo real.

A grandes rasgos, este proyecto no intenta vender un producto en particular, lo que se pretende es incorporar el uso de la tecnología para mejorar el funcionamiento de los sistemas de riego y de control de las heladas, aumentando la productividad y evitando que procesos que se pueden realizar solos sean realizados por personas.

A medida que se avanza en los capítulos se mencionarán los materiales requeridos, así como sus características principales, se determinarán los cambios necesarios, remodelaciones o adecuaciones de la instalación existente a fin de abaratar materiales y recursos.

Los costos asociados se profundizarán en la sección de análisis económico del proyecto, donde se realiza un análisis económico detallado del proyecto, con el objetivo de determinar su viabilidad financiera, donde se determinará si conviene implementarlo en un contexto agrícola real realizando las modificaciones e incorporación de las nuevas tecnologías o si conviene seguir como se estaba desde un principio.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1 ANTECEDENTES GENERALES

A continuación, se dará a conocer un poco de información referida al producto en cuestión, un poco de historia, la ubicación geográfica donde se emplaza el producto con la problemática y algunas características generales.

1.1 CONTEXTO DEL CULTIVO DE LA PAPAYA CHILENA

En Chile, al mencionar la papaya, muchas personas la asocian de manera casi inmediata con la Región de Coquimbo, especialmente con la ciudad de La Serena, donde su cultivo tiene una larga tradición. Sin embargo, este fruto no es exclusivo de dicha zona, habiendo plantaciones en otras localidades del país.

1.1.1 Leyenda sudamericana

Papaya: las lágrimas de oro (leyenda sudamericana)

Cuenta la leyenda que la hija de un cacique se enamoró de un joven conquistador español. Cuando el amor de ellos crecía una lecha desde la oscuridad mató al mozo hispano. Ella abrazó la tierra donde fue enterrado y su dolor fue tan intenso, que el Dios del amor decidió el milagro. El llanto de la indígena regó la sepultura del amado y empezó a crecer una yerba, que se transformó en un árbol, cuya fruta tuvo la forma de sus lágrimas, de color verde al comienzo, amarillo intenso al estar maduro, por lo que fue llamado el árbol de las lágrimas de oro. (ver figura 1-1)



Fuente: www.inia.cl

Figura 1- 1: Papaya- lágrimas de oro

1.1.2 Materia prima (la papaya)

El papayo que se produce en Chile es el *Carica Pubescens* (Figura 1-2), pertenece a la familia de las Caricaceae del cual existen más de 40 especies, pero las más conocidas por sus frutos son solamente: *C.papaya*, *C.pubescens* (cultivada en Chile) y *C.pentágona* o Babaco. La producción de papaya se concentra en la Región de Coquimbo, principalmente en la zona costera. El fruto se caracteriza por ser muy dulce y aromático de color amarillo, tamaño pequeño y forma alargada, de piel delgada y muy rico en papaína (enzima proteolítica).



Fuente: <https://www.rarepalmseeds.com/>

Figura 1- 2: *Vasconcellea pubescens* ó papaya

1.1.3 Partes y características de la papaya

- **Tronco:** Se trata de un tronco generalmente no ramificado (solo se ramifica si dicho tronco es herido), presenta una altura entre 1,9 y 2,5 m. Presenta numerosas cicatrices características, producto del crecimiento y caída consecutivas de las hojas (Figura 1-3)
- **Hojas:** Las hojas son alternas, aglomeradas en el ápice del tronco y ramas, de 25-75 cm de diámetro, lisas, más o menos alta y palmeadas con venas medias robustas, irradiantes.



Fuente: www.laserenaonline.cl

Figura 1- 3: Planta de papaya

- La savia: es de consistencia lechosa (de aquí su nombre de “lechosa”), y tóxica en estado natural para el humano, pudiendo producir irritaciones alérgicas con el contacto con la piel, Esta savia lechosa contiene una enzima muy útil, la papaína, empleada como ablandador de carnes.
- Semillas: Las semillas son de color negro, redondeadas u ovoides y encerradas en un arilo transparente, subácido. Últimamente se han realizado investigaciones y éstas son usadas en cosmetología.
- Flores: Flores del papayo. Los arbustos de papayo tienen tres clases de pies diferentes; unos con flores femeninas, otros con flores hermafroditas y otros con flores masculinas. Las flores femeninas tienen un cáliz formado por una corona o estrella de cinco puntas muy pronunciada y fácil de distinguir. Encima de éste se encuentra el ovario, cubierto por los sépalos; estos son cinco, de color blanco amarillo, y muy tiernos, ligeramente tocados de violeta en la punta; no están soldados. Los estigmas son cinco, de color amarillo, y tienen forma de abanico.
- Fruto: Los frutos poseen una textura suave y una forma oblonga, y pueden ser de color verde cuando están verdes y amarillo cuando madura.

1.1.4 Usos y beneficios

- Bebidas e infusiones y tragos como el llamado Serena libre
- Cosmetología, ayudando al cuidado del cutis y del cabello

- La medicina tradicional usa esta fruta para tratar la tos y la gripe. Además, se está explorando el potencial medicinal, entre las que destacan las cualidades del látex para la cicatrización y protección contra el desarrollo de úlceras gástricas.
- Postres como papaya en conserva, al jugo, miel de papaya, papaya frita, papaya confitada
- Bajo en calorías, posee gran cantidad de nutrientes, vitaminas y antioxidantes. (tabla 1-1)

Tabla 1- 1: Características nutricionales basado en 100g de parte comestible

Agua	93,0 %	Fósforo	28,0 mg
Calorías	18,0 kcal	Fierro	1,3 mg
Proteínas	1,0 g	Tiamina - B1	0,06 mg
Hidratos de Carbono	3,3 g	Riboflavina - B2	0,05 mg
Lípidos	0,3 g	Ac. Ascórbico - C	26,0 mg
Fibras	1,4 g	Riacina	0,05 mg
Calcio	36,0 mg		

Fuente: www.agricolahc.cl

1.1.5 Reseña histórica

Se ha establecido que las plantas de *Vasconcellea pubescens* en Chile tienen un origen prehispánico, es nativo de Sudamérica y se encuentra en las zonas andinas desde Colombia a Bolivia. La introducción de esta especie no está clara, asumiéndose que se habría producido por la internación de semillas en el extremo norte antes de la llegada de los españoles. Dentro de Sudamérica se le conoce con distintos nombres: en Chile, papaya; en Colombia, papayuela o papaya de altura; en Ecuador, chilguacán, chiglacón, chamburu, papaya de olor; en Bolivia huanarpu hembra; y en Perú, papaya arequipeña.

1.1.6 Ubicación geográfica

La papaya o *Vasconcellea pubescens* se cultiva preferentemente en localidades costeras libres de heladas y protegida de los vientos entre las regiones de Coquimbo y Biobío. La Región de Coquimbo tiene el 70% de las plantaciones de papayos del país, el porcentaje restante se reparten en su mayoría entre la región de Valparaíso y la región de Ñuble.

La plantación a la cual se hace referencia en este trabajo de título se encuentra ubicada en la Localidad de Longotoma, región de Valparaíso (Ubicación geográfica: -32.356621, -71.347442) (Figura 1-4).



Fuente: www.google.cl/maps

Figura 1- 4: Vista aérea del terreno

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema en cuestión son las pérdidas de las cosechas en cultivos de papayas, producto de las heladas imprevistas.

El papayo es un árbol tropical poco tolerante a climas fríos. Con $-0,5$ a -1°C puede haber daños serios en frutos y tejidos vegetativos.

El daño por helada no se debe a la formación de hielo en el exterior de la planta. El daño se produce por cambios en el agua existente en los espacios intercelulares de los tejidos de la planta. En una helada ocurre formación de hielo en esos espacios, el cual extrae agua de las células, deshidratándolas o bien forma cristales internos que las rompen.

1.2.1 ¿Que son las heladas?

Desde un punto de vista meteorológico, la helada corresponde al descenso en la temperatura del aire, alcanzando valores iguales o menores a 0°C (medido a 1.5m desde el suelo), cualquiera sea su intensidad, ocurrencia y duración de ésta. El grado de daño provocado por las heladas depende de la intensidad de las bajas temperatura y del tiempo de duración de éstas.

1.2.1.1 Clasificación de las heladas

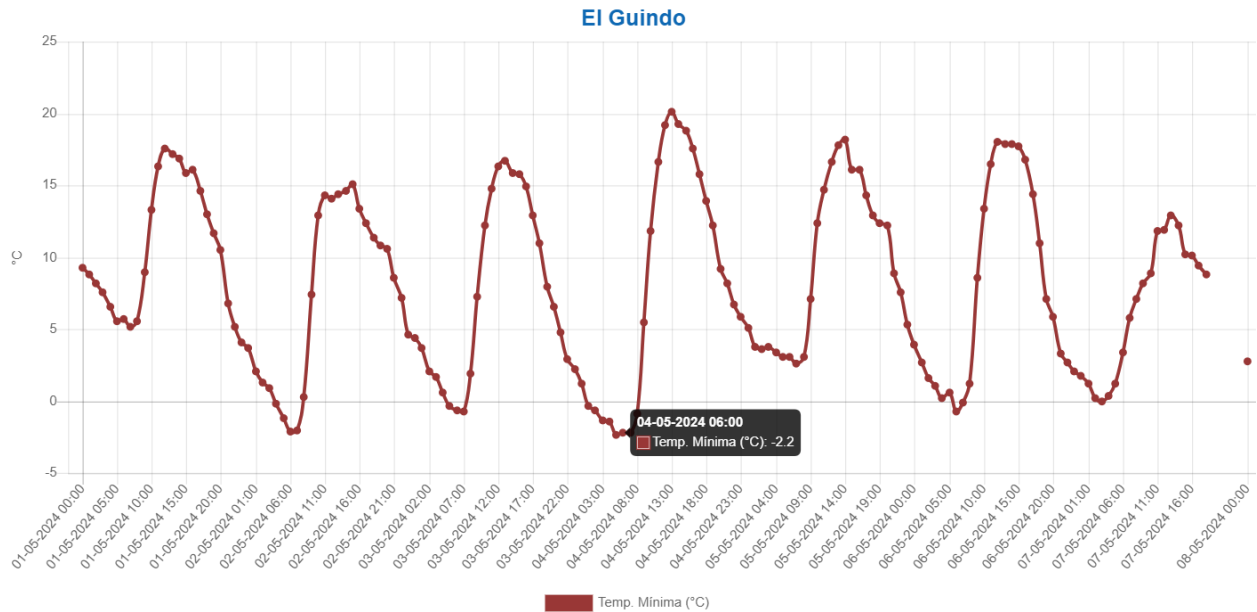
Las heladas se pueden clasificar según su origen, época, ocurrencia, aspecto entre otros. Pero las clasificación más comunes y generales son las siguientes:

- Heladas advectivas: se producen debido al movimiento de aire frío que invaden zonas de aire más caliente. En general las zonas afectadas son extensas y se producen normalmente en invierno, por efecto de un frente de aire frío proveniente del Polo Sur.
- Heladas radiativas: Ocurre por la pérdida de calor del suelo. Esto ocurre cuando el cielo nocturno se encuentra despejado, sin viento y el aire tiene baja humedad, permite que la energía calórica de los materiales se escape hacia la atmósfera.
- Helada mixta: Son la combinación de los factores revisados anteriormente (advección más radiación), pudiendo ser las heladas mixtas las más intensas debido a la pérdida de calor durante la noche y a la masa de aire frío que se desplaza por una determinada región.

Los factores que normalmente influyen en la intensidad de una helada son la nubosidad, velocidad del viento, humedad del aire, el laboreo del suelo, la cubierta vegetal, el relieve y la pendiente del terreno entre otros.

1.2.1.2 Registro de helada

A modo de ejemplo se muestra un gráfico de las temperaturas mínimas registradas en el mes de Mayo del año 2024. Mediciones realizadas por la estación la Red Agroclimática nacional "Agromet" en su estación "El Guindo", ubicada en las cercanías de la zona, en la localidad de Longotoma, región de Valparaíso. (ver Gráfico 1-1).



Fuente: Estación "El Guindo" de Agromet- red agroclimática nacional

Gráfico 1- 1: Temperatura mínima registrada en mes de mayo por estación "el Guindo"

Se observa que al menos en 4 ocasiones durante ese mes las temperaturas descendieron bajo los 0° C, lo cual es perjudicial para las plantaciones de papayas.

1.2.2 Definición del problema

Esta sección hace referencia al problema a presentar en el Trabajo de Título. Se identificarán las posibles causas y las consecuencias del problema.

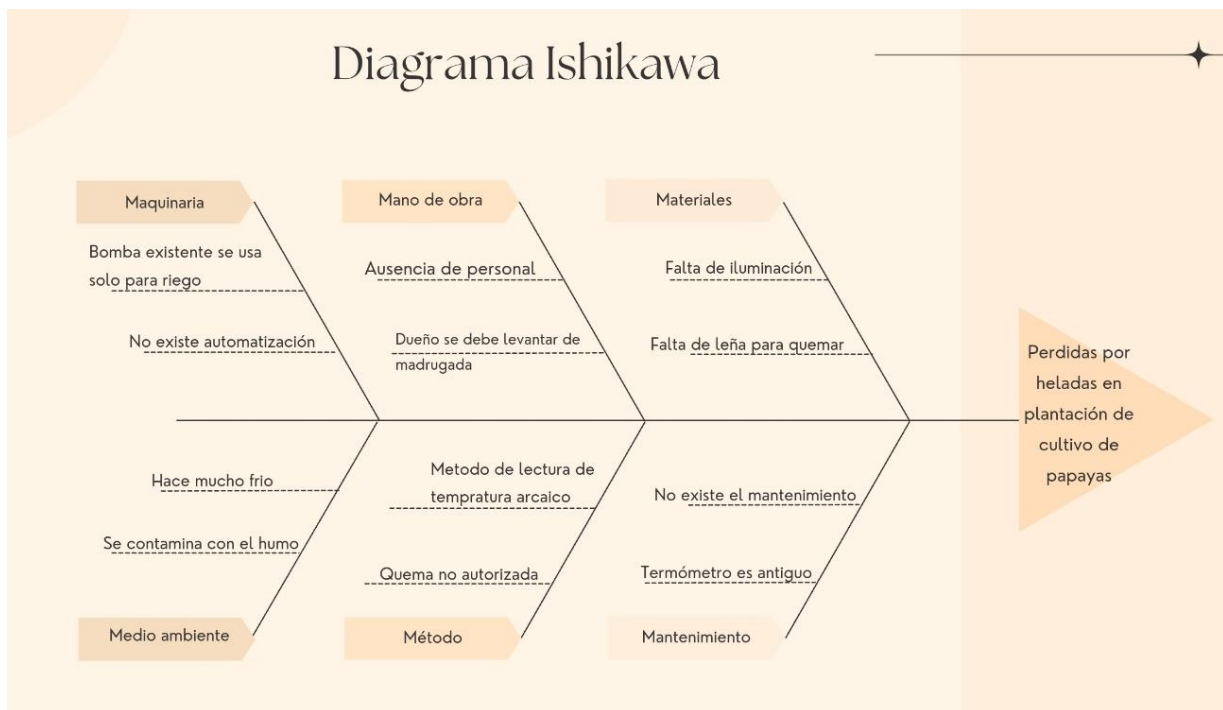
1.2.2.1 Identificación del problema

Para lograr una identificación más a fondo del problema se utilizará una herramienta con muchos nombres, se le conoce como el diagrama causa efecto, diagrama de Ishikawa ó también conocido diagrama espina de pescado. A continuación, se mencionan sus categorías.

- **Maquinaria:** La falta de equipos específicos para el control automático de heladas es un factor importante. En lugar de utilizar sistemas modernos como ventiladores antiheladas o sistemas de riego por aspersión, se depende de métodos manuales, como encender fogatas (lo cual es una mala práctica por que provoca incendio y contaminación), lo que no garantiza un control eficiente de la temperatura.

- **Mano de Obra:** Si el personal acepta deberá estar disponible a cualquier hora, especialmente durante la madrugada, para encender las fogatas cuando las temperaturas descienden. Esto implica un esfuerzo físico significativo y afecta la eficiencia, ya que el éxito depende de la rapidez y efectividad del personal para reaccionar ante las heladas. De no contar con personal son los propios dueños quienes deben realizar esta tarea para no perder sus cosechas.
- **Materiales:** El uso de materiales para las fogatas, como leña, no siempre es eficiente ni sostenible a largo plazo. Además, puede no ser suficiente para cubrir grandes áreas de cultivo, lo que deja partes de la plantación expuestas a las heladas.
Por otro lado, la falta de iluminación en el área de las plantaciones hace que esta tarea sea más difícil de realizar durante la noche.
- **Medio Ambiente:** Las condiciones climáticas en Longotoma, como bajas temperaturas y la humedad, aumentan el riesgo de heladas. Esta helada no solo afecta los cultivos, sino también al personal que debe realizar labores de trabajo durante la madrugada exponiendo de por medio su salud. El uso de fogatas genera contaminación y causa mala calidad en el aire, el cual puede causar enfermedades respiratorias.
- **Método:** Actualmente, el método utilizado es encender fogatas en puntos específicos y monitorear con un termómetro antiguo. Este método es reactivo en lugar de preventivo, lo que significa que las acciones se toman solo cuando la temperatura ya está cerca de niveles críticos, lo que puede ser demasiado tarde para evitar daños significativos. Por otro lado, la quema o la realización de fogatas es una actividad no autorizada.
- **Mantenimiento:** No existe un sistema adecuado para monitorear ó accionar los equipos utilizados en el control de heladas, por lo que no existe mantenimiento de estos.
El termómetro es antiguo, por lo que sin un plan de mantenimiento o calibración, el termómetro podría no proporcionar mediciones precisas, lo que dificulta la toma de decisiones rápidas y efectivas.

A continuación, se puede observar un resumen visual de la problemática utilizando el diagrama de Ishikawa (ver Figura 1-5).



Fuente: Elaboración propia en utilizando programa Canvas en base a diagrama Ishikawa

Figura 1- 5: Modelo Ishikawa del problema

1.2.2.2 Consecuencias del Problema

- Daño en la plantación de las papayas
- Pérdidas de dinero
- Alza de precios para los consumidores
- Pago de horas extras a trabajadores que acepten trabajar de madrugada
- Problema de salud de los propietarios debido al estrés

1.2.2.3 Causas del problema

- Falta de control efectivo de las variables que causan las heladas en la plantación y de acciones que puedan mitigar dicho problema.
- No existe sistema automatizado para mitigar el problema.
- Falta de personal en horario de madrugada.
- Escasez de leña para encender fogatas en distintos puntos.

1.2.3 Importancia de resolverlo

Es importante resolver esta problemática por diversas razones, algunas de las cuales son:

- El impacto económico, ya que generaría pérdidas significativas en los ingresos de los productores, pudiendo afectar la capacidad de inversión, desarrollo y bienestar.
- Alza de precios a los consumidores, debido a la escasez del producto por pérdidas de la cosecha.
- La calidad de vida, ya que la pérdida de las cosechas por las heladas puede generar estrés y ansiedad en los productores, lo que afectaría su bienestar psicológico y social.

1.2.4 Involucrados

Dentro de los involucrados se encuentran en primer lugar los agricultores, ya que sufren pérdidas en sus cosechas y por ende en sus ingresos.

Los consumidores, ya que se ven afectados por el aumento de los precios de los productos agrícolas debido a la escasez de estos provocada por las heladas.

También se ve involucrado el Gobierno, ya que tiene un rol fundamental en el apoyo de estos, brindando ayuda a los productores afectados por las heladas mediante programas de asistencia financiera, seguros agrícolas y apoyo técnico.

Empresas de seguros, ya que realizan una evaluación de riesgos, la determinación de primas y la gestión de siniestros, brindando seguros agrícolas que cubran las pérdidas por heladas.

Estos son solo algunos de los involucrados, ya que también pueden haber involucradas instituciones investigadoras privadas o particulares u empresas no gubernamentales sin fines de lucro como las ONGs, por lo que cada caso se debe analizar individualmente.

1.3 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Existen diversos sistemas para el control de las heladas, las cuales van desde soluciones tradicionales hasta modernos sistemas de tecnologías automatizados

1.3.1 Control pasivo

- Selección de sitio, especie o variedad
- Uso de barreras al movimiento del aire
- Mejoramiento del suelo

- Eliminación de cobertura vegetal
- Evitar la remoción del suelo en temporada de heladas
- Uso de cubiertas sobre las plantas

1.3.2 Control activo

- Riego por aspersión.
- Calentadores de aire (calefactores o fogatas).
- Torres de ventilación (ventiladores, aspas o máquinas de viento).
- Uso de helicópteros, que sobrevuelan los campos durante las heladas.
- Combinación de los métodos anteriores.

Para resolver el problema antes mencionado, se implementará un sistema de control de heladas, el cual pretende aportar grandes beneficios a los agricultores.

El principal beneficio es el de la calidad de vida en el trabajo, ya que el problema de las heladas ocurre normalmente en las madrugadas a horarios muy tempranos, y los trabajadores deben estar en pie atentos a la temperatura de un termómetro y esperando la situación de que la temperatura baje por debajo o alrededor de los cero grados para realizar uno de los métodos de control activo antes mencionados.

1.3.3 Requerimientos

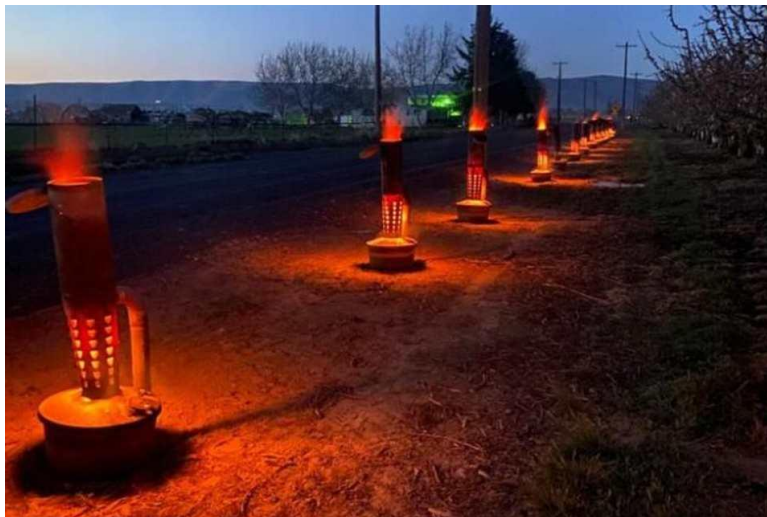
Se necesita realizar un sistema de control de heladas que actúe de manera automático, es por lo que se incorporará un sistema de monitoreo en tiempo real, el cual realizará la lectura de la temperatura ambiente y alguna otra variable de ser necesario. Para el control de este sistema automático se debe utilizar algún dispositivo que sea capaz de procesar los datos de las variables ambientales a monitorear y mediante algún sistema de programación sea capaz de realizar alguna acción que permita mitigar el problema en cuestión.

1.3.4 Alternativas de solución

En este apartado se evalúan diferentes alternativas de solución para el control de las heladas.

1.3.4.1 Alternativa 1: Realizar una mejora a método existente

La primera alternativa ante la problemática es “realizar una mejora”, con esto se refiere a seguir realizando los mismos métodos y procedimientos que se venían utilizando hasta el momento, ósea el agricultor o la persona encargada deberá estar atento a los pronósticos de tiempo de la radio local o la televisión y en caso de pronosticarse “posibilidad” de heladas, deberá estar atento a la temperatura que marca el termómetro antiguo. Y en caso de que las temperaturas alcancen los 0°C, pero en vez de encender las fogatas en diferentes puntos del cultivo esperando que esto sea suficiente para evitar las heladas en toda la cosecha, encender calefactores de exterior (como se muestra en la Figura 1-6). La cantidad que utiliza es de muchas unidades y tiene un gran gasto de combustible.



Fuente: www.portalagrochile.cl

Figura 1- 6: Calefactor para control de heladas

1.3.4.2 Alternativa 2: Uso de cubiertas sobre los cultivos

Estos sistemas consisten en poner a los cultivos unas carpas o cubiertas de plástico (ver Figura 1-7) generando un microclima en su interior y manteniendo su temperatura unos cuantos grados más arriba que la temperatura del aire. El problema de este sistema es que los cultivos pueden llegar a crecer bastante, por lo que se dificultaría la tarea de instalar estas cubiertas, esto podría tomar bastante tiempo, porque esta tarea sería de prevención y se debería realizar con anticipación cuando algún medio de comunicación anticipe una “posible” baja de temperatura.

Al ser muchos cultivos es bastante el material que se debe utilizar y éste se debe ir renovando de vez en cuando, ya que el plástico se va quemando a medida que pasa el tiempo, por lo que lo vuelve en una solución que a largo plazo no es tan económica.



Fuente: www.durba.cl

Figura 1- 7: Cubierta para plantación

1.3.4.3 Alternativa 3: Torres de ventilación o turbinas de aire

Se basan en impulsar masas de aire para mezclar el aire caliente que ha subido desde el suelo, con el aire frío cercano a los árboles. La altura de trabajo debe considerar qué tan alta ocurre la capa de inversión térmica. Antes de instalar las torres se debe conocer si ocurre un diferencial de al menos $1,5^{\circ}\text{C}$ entre los 2 y los 10 metros de altura. Funcionan mejor durante las heladas por radiación cuando hay una fuerte capa de inversión de aire más cálido.

Estas torres de ventilación (ver Figura 1-8) se deben ubicar en puntos estratégicos de cosecha. A medida que los cultivos se alejan de la hélice van perdiendo eficacia, por lo que el área protegida es en realidad un óvalo debido a la influencia del viento.



Fuente: www.meteored.cl

Figura 1- 8: Torre de ventilación

1.3.4.4 Alternativa 4: Riego por aspersión automatizado

El riego por aspersión (ver figura 1-9) es un sistema que funciona como microaspersiones. Al contrario de lo que pueda parecer, requiere un bajo consumo de agua. El agua a temperatura ambiente se congela liberando calor latente, 80 calorías por cada gramo de agua. Esta energía liberada mantiene a la planta por encima de temperaturas negativas. Funciona como un iglú.

Al combinarse con un sistema de encendido automático es una excelente opción para el manejo de las heladas.



Fuente: www.agromatica.es

Figura 1- 9: Control de helada por sistema de aspersión

1.3.5 Evaluación de las alternativas de solución

Dado el análisis de las posibles alternativas de solución reportadas en el punto anterior, se escogerá la que es más factible de desarrollar dadas los criterios de Innovación, beneficio, vida útil de la solución y factibilidad (solución debe ser práctica, accesible y sostenible en el tiempo).

La escala de calificación es de 1 a 5, donde 1 corresponde a “Muy deficiente” y 5 cuando la calificación es “Óptima”, como se observa en la tabla 1-2.

Tabla 1- 2: Puntuación de alternativas de solución

Muy deficiente	deficiente	aceptable	bueno	óptimo
1	2	3	4	5

Fuente: elaboración propia basada en alternativas de solución

1.3.5.1 Alternativa seleccionada

Dado el análisis de las posibles alternativas de solución, se realizó una tabla de comparación (ver tabla 1-3), en donde se le asignó una puntuación a cada posible solución según los criterios mencionados anteriormente.

Tabla 1- 3: Selección de mejor alternativa

Alternativa \ Criterio	Innovación 20%	Beneficio 35%	Factibilidad 30%	Vida Útil 20%	Puntuación final
Realizar una mejora a método existente	2	3	2	5	3,05
Uso de cubiertas sobre los cultivos	1	4	1	1	2,01
Torres de ventilación	3	4	3	5	3,9
Riego por aspersión automatizado	3	5	5	5	4,85

Fuente: elaboración propia basada en comparación de alternativas

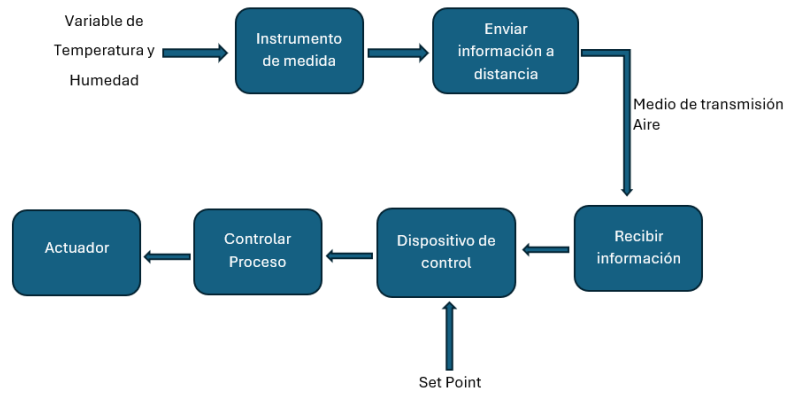
La solución que mayor puntuación obtuvo es la solución de riego por aspersión automatizado con 4,85 puntos en una escala de 0 a 5.

1.3.6 Valor agregado

El sistema de control de heladas mediante el riego por aspersión automatizado garantiza una protección más rápida y efectiva contra las bajas temperaturas. Esto ayuda a reducir significativamente las pérdidas en los cultivos de papaya y, a su vez, mejora el rendimiento general, asegurando una mayor producción y calidad de la fruta.

Existe la factibilidad de monitoreo de temperatura en tiempo real y encendido automático del sistema de aspersión. Además, la automatización del sistema elimina la necesidad de que el personal se levante temprano para encender fogatas o monitorear manualmente la temperatura. Esto no solo reduce el esfuerzo físico del personal, sino que también disminuye los costos asociados con la mano de obra, permitiendo que los trabajadores se enfoquen en otras tareas productivas.

A continuación, se muestra un diagrama esquemático para comprender cómo se atacará la problemática de manera general (ver figura 1-10).



Fuente: elaboración propia en base a idea general de solución

Figura 1- 10: Esquema general de la solución

1.3.7 Objetivos del proyecto

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos claves para poder llevar a cabo este proyecto.

1.3.7.1 Objetivo General

Diseñar un de un sistema de control y monitoreo de heladas para una plantación de cultivo de papayas.

1.3.7.2 Objetivos Específicos

Con el propósito de cumplir el objetivo general es que se realizan una variedad de objetivos específicos con el fin de ir avanzando por etapas y de esta manera dando un mayor orden a la solución de nuestra problemática. Es importante destacar que este trabajo se enfoca en el diseño, donde se busca validar su funcionalidad mediante un prototipo funcional para poder representar de manera precisa y realista el comportamiento esperado en una futura instalación real. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Desarrollar un prototipo de un sistema que permita la supervisión en tiempo real de la temperatura.
- Programar los microcontroladores y los dispositivos de comunicación para asegurar una buena transmisión de datos a pesar de la distancia.
- Establecer comunicación y procesar datos de manera correcta.
- Verificar tiempo de respuesta para operación automática del sistema.
- Graficar datos de medición obtenidos

CAPÍTULO 2: ESTUDIO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

2 ESTUDIO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

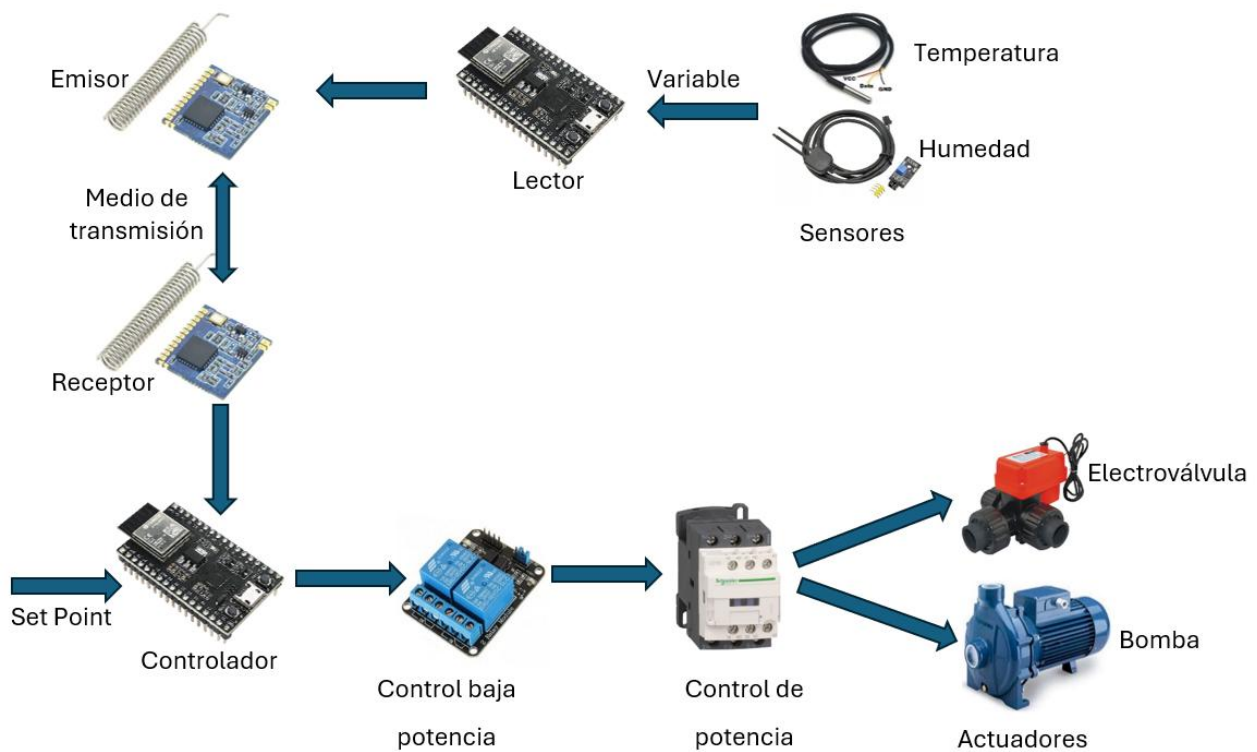
En este capítulo, se presentan algunos de los componentes principales del sistema del control de heladas para el cultivo de papayas, donde se dará a conocer un poco de información referida a los productos utilizados y algunas características generales.

2.1 ESQUEMA GENERAL DE LA SOLUCIÓN Y SUS PRINCIPALES COMPONENTES

A continuación se muestra un esquema general (ver Figura 2-1), para explicar a grandes rasgos la manera de como interactúan los diferentes elementos para llevar a cabo el objetivo.

El sistema contará con 2 dispositivos de entrada, los cuales serán los encargados de sensar temperatura y humedad. Estas variables serán leídas por el dispositivo “esp32 lector” y entregada a un dispositivo Lora sx1278 emisor, el cual puede enviar datos a distancia, y en el otro extremo habrá otro que la recibe. El Lora sx1278 receptor le entrega la información al “esp32 controlador” y éste es el que dependiendo de su configuración decide si activa la señal que controla al actuador.

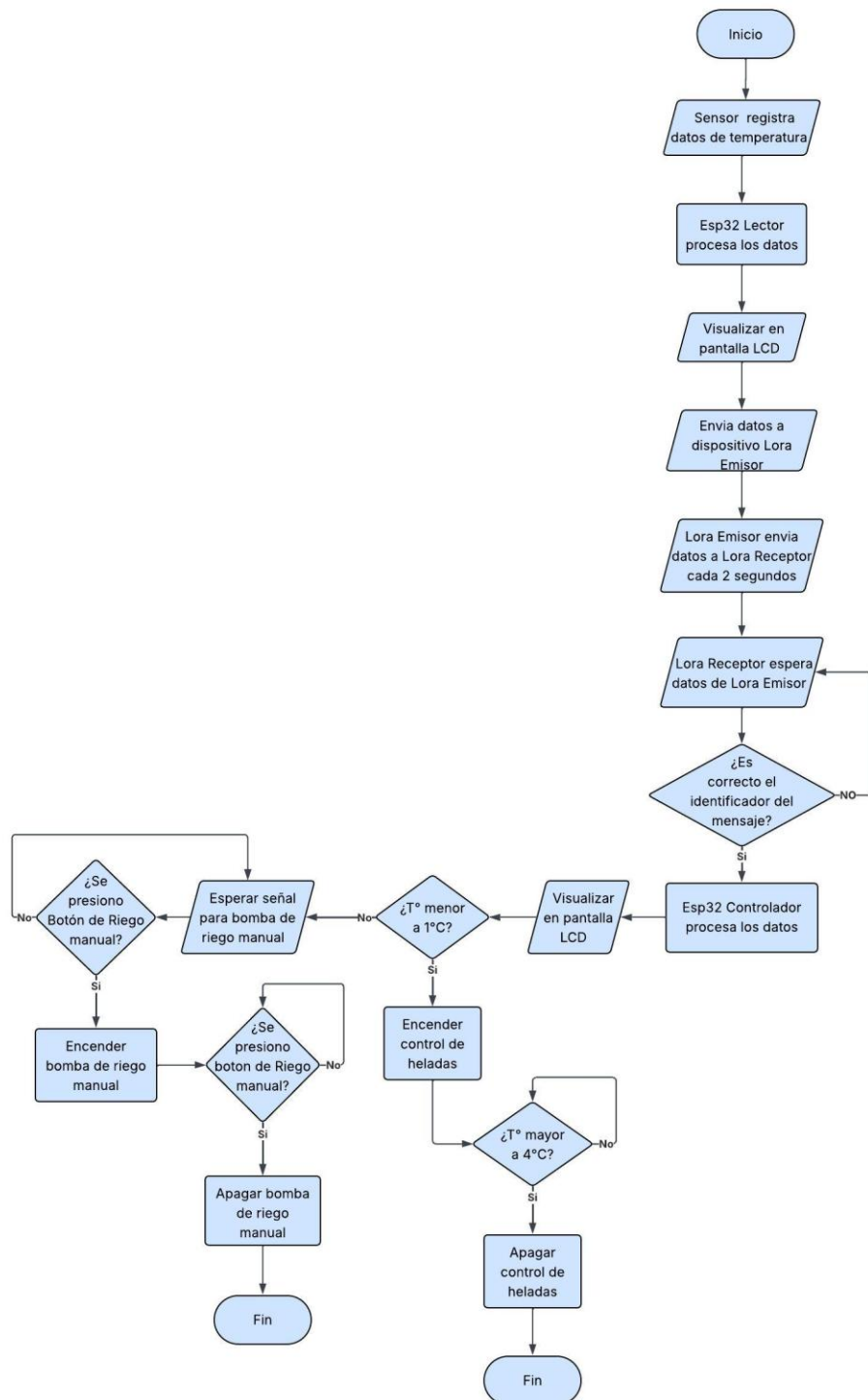
La señal de control es enviada a un módulo relé y este es el encargado de enclavar la bobina del contactor para encender la bomba y la electroválvula del control de heladas.



Fuente: Elaboración propia en base a elementos generales de la solución

Figura 2- 1: Esquema general de elementos del control de heladas

A continuación, se muestra un diagrama de flujo para poder entender de mejor manera el método de cómo se desarrollará la lógica de control para dar solución a la problemática planteada. (ver Figura 2-2). Donde el sistema funciona de manera automática, además cuando no existen heladas también tiene la posibilidad de activar el riego de forma manual a distancia a través de la aplicación.



Fuente: Elaboración propia en base al planteo de la solución

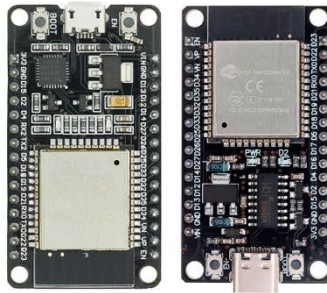
Figura 2- 2: Diagrama de Flujo

2.1.1 Esp32 Devkit v1 30 Pines USB-C/MicroUSB

El Esp32 Devkit V1 de 30 pines (ver Figura 2-3) es un microcontrolador de bajo costo y consumo de energía, cuenta con tecnología Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrado que permite controlar todo tipo de sensores, módulos y actuadores.

Permite generar proyectos de Internet de las cosas “IoT” de forma eficiente y económica, ya que integra internamente una gran cantidad de periféricos incluyendo: sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C. Tiene una CPU de dos núcleos de hasta 240Mhz que se pueden controlar independientemente. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla, utilizando principalmente cables dupont.

El Esp32 utiliza los pines 19 y 23 para comunicarse con el dispositivo Lora SX1278 a través de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), no utiliza los pines RX y TX serial (UART).



Fuente: <https://uelectronics.com/>

Figura 2- 3 :Placa de desarrollo Esp-wroom-32

El ESP32 se puede programar con el programa Arduino IDE, el cual es un software libre y de código abierto, así cualquiera que desee ampliar y mejorar el diseño hardware de las placas como el entorno de desarrollo, puede hacerlo sin problemas. Esto permite que exista un rico ecosistema de placas electrónicas no oficiales para distintos propósitos y de librerías de software de tercero, que pueden adaptarse mejor a las necesidades de cada usuario.

Gracias a su gran alcance hay una gran comunidad trabajando con esta plataforma. Así se genera una cantidad de documentación bastante extensa, la cual abarca casi cualquier necesidad.

Su entorno de programación es multiplataforma. Se puede instalar y ejecutar en sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux.

Su lenguaje de programación basado en C++ es de fácil comprensión, permitiendo una entrada sencilla a los nuevos programadores debido a la amplia variedad de librerías y ejemplos que se ofrecen, y a la vez da la oportunidad a los programadores más avanzados para que puedan exprimir todo el potencial de su lenguaje y adaptarlo a cualquier situación.

Características principales:

- Serie: ESP32 DEVKIT V1.
- Puerto: USB- C / MicroUSB.
- Chip USB-Serial: CH340C.
- Numero de Núcleos: 2.
- Voltaje de Alimentación (USB): 5V DC.
- Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3V DC.
- Consumo de energía de 5µA en modo de suspensión.
- Pines físicos: 30.
- Pines digitales GPIO: 24 (Algunos pines solo como entrada).
- Conversor Analógico Digital: Dos ADC de 12bits tipo SAR, soporta mediciones en hasta 18 canales, algunos pines soportan un amplificador con ganancia programable.
- Antena en PCB.
- Tipo: Módulo Wifi + Bluetooth.
- Wifi: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s).
- Bluetooth: 4.2 BR/EDR BLE Modo de control dual.
- CPU principal: Tensilica Xtensa 32-bit LX6.
- Memoria: 448 KByte ROM, 520 KByte SRAM, 6 KByte SRAM en RTC y QSPI admite múltiples chips flash /SRAM.
- Procesador secundario: Permite hacer operaciones básicas en modo de ultra bajo consumo.
- Desempeño: Hasta 600 DMIPS.
- Frecuencia de Reloj: hasta 240Mhz.
- Seguridad: IEEE 802.11, incluyendo WFA, WPA/WPA2 y WAPI.
- Criptografía acelerada por hardware: AES, SHA-2, RSA, criptografía de curva elíptica (ECC), generador de números aleatorios (RNG).

2.1.2 Lora SX1278

El módulo LoRa SX1278 (ver Figura 2-4) 433MHz es un dispositivo de comunicación inalámbrica diseñado para transmitir datos a larga distancia con baja potencia. Basado en la

tecnología LoRa (Long Range), opera en la banda de frecuencia de 433MHz (su frecuencia se puede modificar), lo que le confiere un alcance significativo en entornos urbanos y rurales. Este módulo es ideal para aplicaciones de IoT, monitoreo remoto, sistemas de telemetría y otros proyectos que requieren una comunicación de largo alcance y eficiencia energética. Su diseño compacto y su capacidad para superar obstáculos hacen del módulo LoRa SX1278 una opción valiosa para proyectos de conectividad robusta y eficiente.

El módulo inalámbrico además de la tecnología de modulación GFSK tradicional, también utiliza la tecnología de espectro ensanchado LoRa (remota), con comunicación de espectro ensanchado a distancia ultra larga y alta anti-interferencia. Y minimiza el consumo actual. El uso del modo LoRa TM puede lograr una alta sensibilidad de -148 dBm, y con una salida de potencia integrada de +20 dBm, puede lograr una transmisión de distancia ultra larga de bajo consumo. El módulo es adecuado para cualquier entorno complejo de aplicaciones de transmisión de datos inalámbricas, tales como: control doméstico inteligente, electrónica automotriz, alarmas de seguridad, sistemas de control y monitoreo industrial, sistemas de control de riego agrícola de largo alcance y otras aplicaciones.

El módulo se puede integrar fácilmente en cualquier proyecto, ya que la interfaz SPI estándar hace que la comunicación sea fácil y concisa. El dispositivo es capaz de lograr una comunicación bidireccional de transmisión de datos si se configura adecuadamente y si el proyecto así lo requiere.



Fuente: <https://mcielectronics.cl/>

Figura 2- 4: Módulo inalámbrico Lora 1278

Características de dispositivo

- Tecnología FSK/GFSK, tecnología de espectro ensanchado LoRa (remota)
- Comunicación semidúplex
- Súper anti-interferencias (relación de rechazo de canales: 56 dB)
- Alta sensibilidad de recepción -139dbm. (32M Pasivo 10ppm Cristal)

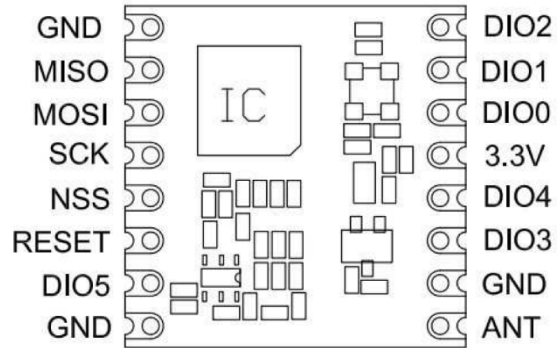
- ISM multibanda, no es necesario solicitar el uso gratuito de frecuencia.
- Multifrecuencia Opcional, una variedad de velocidades de transmisión. Se puede utilizar en tecnología FDMA y FM.
- Reinicio inteligente, monitoreo de bajo voltaje, activación por temporizador, modo de bajo consumo, modo de suspensión
- Bajo consumo de energía para aceptar corriente: 10-12 mA
- TX/RX FIFO de 256 bits
- Función de detección de canal RSSI
- Modo de transmisión: FIFO/modo directo (modo de paquete FIFO recomendado)
- Configuración: AFC / función de activación aérea / bajo consumo de energía / detección de portadora / corrección de errores FEC / cifrado AEC
- Transmisión de distancia ultra larga abierta hasta 5 km.
- Tamaño del módulo: 17 * 16,5 mm

El módulo LoRa SX1278 se comunica principalmente con el microcontrolador (en este caso, el ESP32) a través del protocolo SPI (Serial Peripheral Interface). Este protocolo se utiliza para configurar el módulo y enviar o recibir datos a través de los pines mosi, miso, sck y nss.

A continuación, se describen los pines típicos del SX1278 y sus funciones:

Pines principales del módulo SX1278 (ver Figura 2-5):

- VCC: Alimentación de 3.3V , ya que el SX1278 no es tolerante a 5V.
- GND: Tierra (Ground).
- MISO (Master In Slave Out): Salida de datos hacia el microcontrolador.
- MOSI (Master Out Slave In): Entrada de datos desde el microcontrolador.
- SCK (Serial Clock): Reloj del bus SPI.
- NSS (Chip Select): Pin de selección del esclavo.
- Activo en bajo (LOW), utilizado para seleccionar el módulo SX1278.
- DIO0 (Digital I/O 0): Usado para interrupciones y señalización de eventos (ej., datos recibidos, transmisión completada).
- DIO1 a DIO5 (Digital I/O 1-5): Pueden configurarse para otras funcionalidades según la configuración del módulo (usualmente no siempre son necesarios todos).
- RESET: Pin para reiniciar el módulo.



Fuente: datasheet lora sx1278 de Semtech

Figura 2- 5: Pines de conexión lora SX1278

2.1.3 Sensor de temperatura DS18b20

El sensor de temperatura que se utilizará es del tipo termocupla sumergible en líquidos y con termo retráctil que soporta altas temperaturas.

El sensor DS18B20 (ver figura 2-6) permite medir temperaturas de hasta 125°C de forma fácil y además está sellado en un envoltorio estanco que permite sumergirlo en un líquido o protegerlo de la intemperie. Dado que es un sensor digital, su señal es menos susceptible a degradarse con la distancia en comparación con los sensores analógicos, sin embargo en distancias largas si puede presentar errores de comunicación. Puede funcionar en modo 1-Wire (protocolo de comunicación serie) con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ con una resolución de 12 bits. También pueden utilizarse varios sensores sobre el mismo pin, ya que internamente viene programado con un ID único de 64 bits para diferenciarlos. El rango de funcionamiento es de 3 a 5.5Vdc por lo que se puede utilizar en prácticamente cualquier sistema que use microcontroladores.



Fuente: <https://www.tienda8.cl/>

Figura 2- 6: Sensor de temperatura DS18b20

2.1.4 Sensor de humedad

El sensor de humedad HD-38 anticorrosivo (ver Figura 2-7) es capaz de medir el nivel de humedad del suelo en donde es insertado, mediante detección resistiva. Está compuesto de una sonda y un circuito de procesamiento compacto, el cual convierte la señal de la sonda en una salida analógica cuya tensión varía en función del nivel de humedad del suelo. Cuando el suelo está seco la resistencia es mayor, resultando una mayor tensión (cercana al voltaje de alimentación), equivalente al 0% de humedad. Por el contrario, cuando el suelo está húmedo la resistencia disminuye, lo que produce una tensión de salida más baja, equivalente al 100% de humedad. Por lo que es importante mencionar que, aunque este sensor puede alimentarse desde 3.3 a 12VDC, lo correcto es alimentarlo a 3.3VDC ya que la entrada analógica del Esp32 no soporta tensiones mayores. Este sensor está construido con un material resistente a la corrosión entregando mayor durabilidad y confiabilidad, incluso en condiciones exteriores e intensas de humedad.

Cabe mencionar que, para efectos de corroborar el correcto diseño y código de programación, se realizó un prototipo utilizando el sensor de humedad capacitivo V1.2 con salida analógica de 3.3VDC.



Fuente: <https://www.mechatronicstore.cl/>

Figura 2- 7: Sensor de humedad HD-38 anticorrosivo

Sus principales características son:

- Tensión de Funcionamiento: 3.3 VDC
- Tensión de Salida: Analógica: 0 - 3.3 VDC
- Corriente de Operación: menor a 20mA
- Dimensiones modulo PCB: 36 x 15 mm
- Dimensiones de sonda anticorrosiva: 60 mm
- Largo del Cable: 120cm

2.1.5 Relé

Este módulo de relé (ver Figura 2-8) es para conmutación de cargas de potencia. Los contactos de los relés están diseñados para conmutar cargas de hasta 10A y 250VAC (30VDC), aunque se recomienda usar niveles de tensión por debajo de estos límites.

Las entradas de control se encuentran aisladas con optoacopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control TTL o CMOS como puede ser un microcontrolador.

Este módulo es ideal para conmutar cargas de corriente alterna conectadas a la red eléctrica. Soporta todos los microcontroladores, aplicaciones en zonas industriales, control del PLC, entre otros. Este módulo es capaz de controlar varios equipamientos de alta corriente durante un tiempo prolongado. Puede ser controlado por muchos microcontroladores.

Características del dispositivo:

- Voltaje máximo de operación 250VAC/30VDC
- Voltaje de la bobina (relé) 5VDC
- Corriente máxima de operación 10A
- Corriente de activación por relé 15mA~20mA
- Canales 2 (independientes protegidos con Optoacopladores)
- LED indicador para cada canal (cuando la bobina está activa)
- Tamaño 5.0cm x 4.2cm x 1.3cm

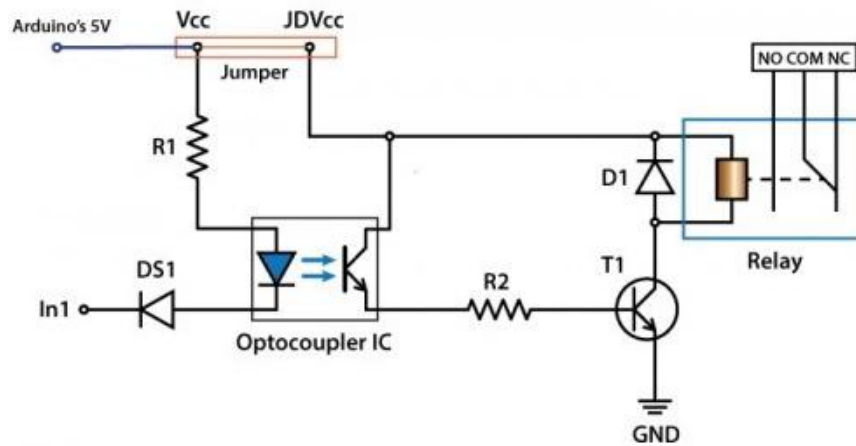


Fuente: <https://altronics.cl/>

Figura 2- 8: Modulo relé 2 canales

Este dispositivo, al igual que la mayoría de los módulos de relés que utilizan optoacopladores, permite la aislación entre la bobina del relé y el circuito de disparo, de esta manera se logra independizar los voltajes de alimentación de la bobina del relé y del circuito de control.

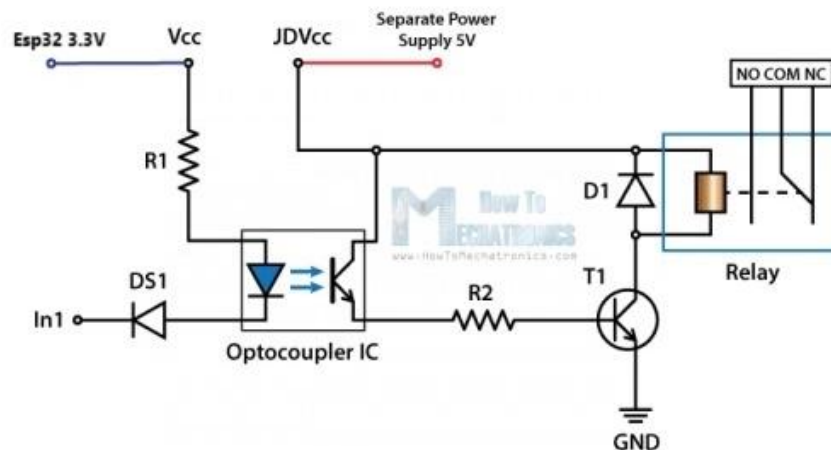
Al tener el jumper puesto, el módulo se debe alimentar obligatoriamente con 5VDC, ya que la bobina del relé necesita de este voltaje para funcionar correctamente. (ver figura 2-9)



Fuente: <https://www.xataka.com/>

Figura 2- 9: Conexión interna Módulo relé con Jumper

Pero gracias a que cuenta con aislación óptica, se puede utilizar con sistemas de 3,3VDC (Raspberry PI, ESP32, ESP8266, etc.). Para lograr la separación de los voltajes, se deberá quitar el jumper que une Vcc y JDVcc (ver Figura 2-10)



Fuente: <https://www.xataka.com/>

Figura 2- 10: Conexión interna Modulo relé sin Jumper

Cabe destacar que este tipo de relés es del tipo activo low, esto quiere decir que la señal de la entrada In1 debe tener un voltaje bajo para que se active el relé.

El relé tiene tres puntos de conexión a la entrada:

- Vcc: corresponde al positivo de la alimentación (normalmente 5Vdc ó 3.3Vdc sin el jumper)
- Gnd: corresponde al negativo de la alimentación o tierra 0Vdc.
- In1 o S: es la señal que dispara al relé y es de 0Vdc.

2.1.6 Bomba de agua

La bomba de agua centrífuga es un dispositivo mecánico utilizado para mover agua u otros líquidos mediante la conversión de energía mecánica en energía hidráulica. Este tipo de bomba es muy común en sistemas de riego, suministro de agua, drenaje, y en aplicaciones industriales.

Sus partes básicas para el funcionamiento son:

- Impulsor: Es el componente giratorio que está dentro de la bomba. Tiene forma de disco con álabes curvados que generan fuerza centrífuga al girar.
- Entrada (aspiración): El líquido ingresa al centro del impulsor a través de la succión.
- Salida (descarga): Al girar el impulsor, el líquido es impulsado hacia las paredes de la carcasa de la bomba debido a la fuerza centrífuga, aumentando su presión y velocidad antes de ser expulsado por la descarga.



Fuente: <https://bombasproservices.cl/>

Figura 2- 11: Bomba de agua

La bomba actualmente utilizada para el riego es la bomba de agua centrífuga marca Pedrollo, modelo CP220C trifásica de 3HP, (ver Figura 2-11), la cual trabaja a una tensión de alimentación de 380VAC. Esta bomba cuenta con IPX4 lo cual significa que esta protegida contra salpicaduras de agua desde cualquier dirección.

Es capaz de mover un caudal promedio de 200 litros por minuto a una altura de 32 metros, el caudal puede variar dependiendo de la altura de elevación, siendo la altura máxima de elevación de hasta 34 metros.

2.1.7 Contactador trifásico

El contactador trifásico (ver figura2-12) es un dispositivo electromecánico utilizado para controlar el encendido y apagado de circuitos eléctricos de manera remota o automática. Está diseñado para manejar cargas trifásicas con una capacidad máxima de corriente nominal indicada por su fabricante, en nuestro caso 18A. Aquí hay más detalles sobre sus características y usos:

Componentes básicos y características:

- Bobina: Recibe una señal eléctrica (de corriente alterna o continua) que crea un campo magnético para cerrar o abrir el circuito.
- Contactos principales: Son los que conducen la corriente a la carga trifásica (por ejemplo, motores o resistencias).
- Contactos auxiliares (opcionales): Usados para circuitos de control o señalización.
- Carcasa: Aísla los componentes internos y garantiza seguridad.
- Capacidad de corriente (18A): Indica la corriente máxima que puede manejar sin dañarse o sobrecalentarse.
- Tensión nominal: Puede manejar tensiones específicas, generalmente 220VAC, 380VAC o 440VAC y menores a 300VDC, dependiendo del diseño.
- Tipo de carga: Adecuado para motores, sistemas de iluminación o calefacción que requieren un control trifásico.
- Control remoto: Se activa mediante la bobina, la cual se energiza con una señal de control.

El contactador incrementa la seguridad al evitar la manipulación directa de circuitos de alta potencia. Puede integrarse con sistemas de control automatizados como PLC o interruptores de accionamiento de baja potencia.



Fuente: <https://gobantes.cl/>

Figura 2- 12: Contactor trifásico

Este dispositivo será, un elemento clave para poder controlar la bomba de agua trifásica, utilizando un pequeño relé para anclar su bobina.

2.1.8 Electroválvula

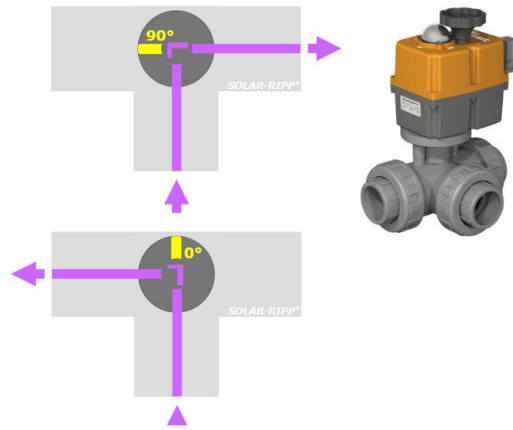
La electroválvula de bola de 3 vías (ver Figura 2-13) es un dispositivo que combina las funcionalidades de una válvula de bola con un actuador eléctrico. Este tipo de válvulas es comúnmente utilizado en sistemas de control automático para manejar el flujo de líquidos o gases de forma remota.



Fuente: <https://aguaplanet.cl/>

Figura 2- 13: Electroválvula 3 vías

Su modo de funcionamiento es simple, al encontrarse desenergizada o en reposo el agua fluye en un sentido de una salida, y al energizarse esta hace una conmutación de manera que redirecciona el flujo del agua en la dirección de la otra salida. (Ver Figura 2-14)



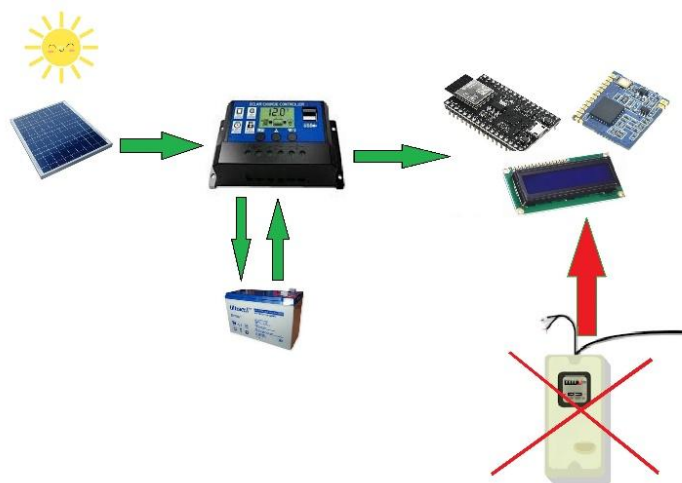
Fuente: catalogo Solar-Ripp

Figura 2- 14: Electroválvula 3 vías

Al utilizar este dispositivo sin energizar es posible utilizar la bomba de riego para regar los cultivos de manera habitual, y al accionar la electroválvula es posible cambiar la dirección de salida del agua para usar la misma bomba en el control de las heladas.

2.2 ENERGIZACIÓN DEL SISTEMA LECTOR Y EMISOR DE DATOS

Para la alimentación de los dispositivos de recopilación de datos y de transmisión se utilizará una batería, un regulador de carga y un pequeño panel fotovoltaico en método de conexión OFF GRID (ver Figura 2-15), ósea desconectado de la red eléctrica de la compañía, de esta manera se reducen los costos que se hubiesen generado al tener que realizar una nueva línea eléctrica, más su postación correspondiente y se evitan los cables atravesando los cultivos.



Fuente: Elaboración propia, imágenes sacadas de google

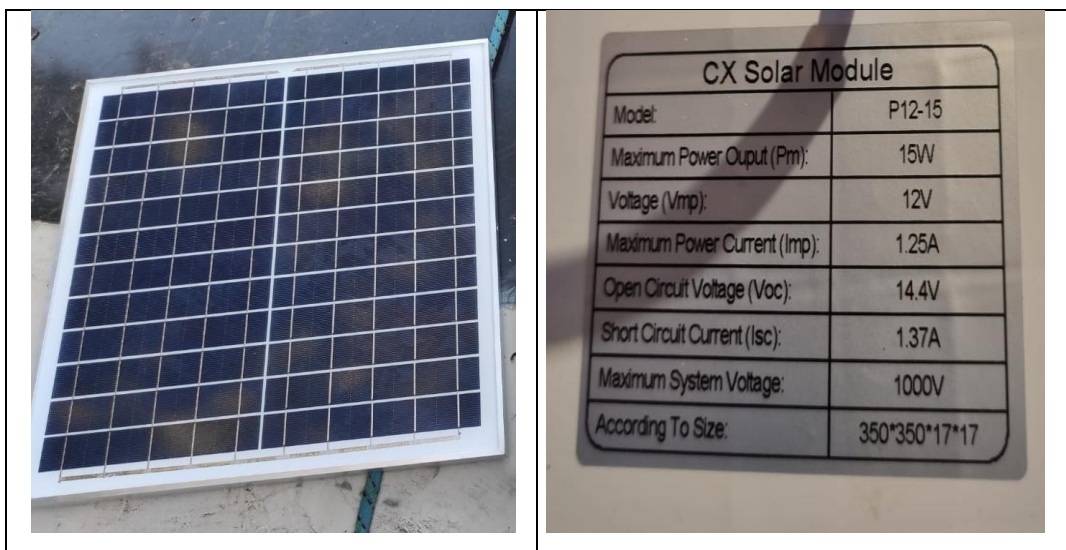
Figura 2- 15: Sistema de conexión OFF-GRID

Para mayor detalle acerca de la energización del sistema lector y emisor de datos revisar el ANEXO-A “Diagrama de energización”.

2.2.1 Panel solar

La energía solar es aquella obtenida directamente de la radiación proveniente del Sol. Esta radiación solar incidente en la tierra se puede aprovechar de diversas formas, ya sea por su capacidad para calentar, generar electricidad o a través del aprovechamiento de la radiación en los diferentes tipos de dispositivos ópticos que capturan su energía de manera eficiente. Es un tipo de energía renovable y limpia, conocida normalmente como energía verde.

El panel solar utilizado es un módulo CX Solar P12-15 de 15W peak (ver Figura 2-16)



Fuente: elaboración propia de fotografía, tomada a panel de mi propiedad

Figura 2- 16: Panel solar CX Solar P12-15 y placa característica

2.2.1.1 Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que se recibe del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La luz visible son las radiaciones comprendidas entre 0,4 nm y 0,7 nm, pueden ser detectadas por el ojo humano. Existen radiaciones situadas en la parte infrarroja del espectro de la cual una parte es ultravioleta.

- a) Radiación directa: Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan
- b) Radiación difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas

direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

- c) Radiación reflejada: La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

2.2.1.2 ¿Como medir la radiación solar?

Para medir la radiación solar se utiliza un instrumento meteorológico llamado piranómetro, el cual está diseñado para medir la densidad de flujo de la radiación solar en un plano de 180°, su unidad de medida es kW/m².

2.2.1.3 Energía fotovoltaica

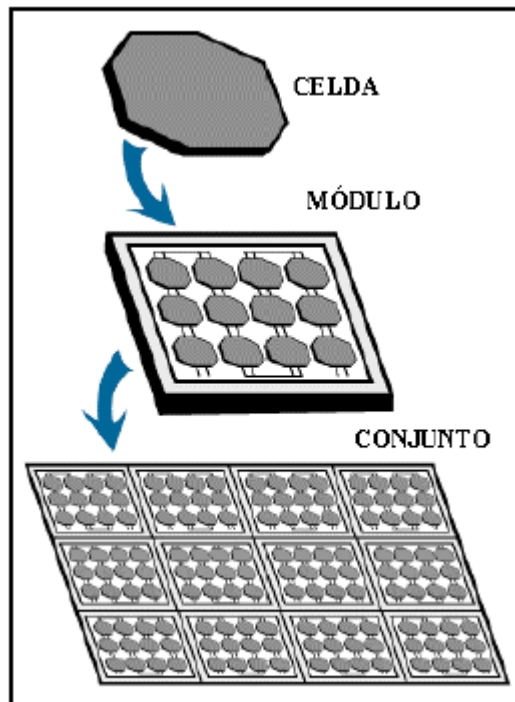
Se denomina energía solar fotovoltaica, al sistema de aprovechamiento de la energía del sol para la obtención de energía eléctrica, o sea, la conversión directa de la luz en electricidad a nivel atómico, a través de paneles fotovoltaicos.

Su principio de funcionamiento se basa en que algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en éste y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio. Los electrones, subpartículas atómicas que forman parte del exterior de los átomos, y que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados.

2.2.1.4 Composición de un panel fotovoltaico

Un panel o módulo fotovoltaico se compone por la unión en serie de cierta cantidad de células fotovoltaicas (ver Figura 2-17), las cuales, al estar expuestas a la radiación solar, generan

un pequeño nivel de voltaje, los cuales trabajando en conjunto generan un nivel un poco mayor de voltaje para que el panel cumpla su función de generar la energía eléctrica necesaria.



Fuente: www.nes.org

Figura 2- 17: Composición de panel fotovoltaico

Las celdas fotovoltaicas están hechas de materiales especiales llamados semiconductores tales como el silicio, que es el material más usado. Cuando la luz solar intercepta en la celda una cierta porción de ella es absorbida dentro del material semiconductor. Esto significa que la energía de la luz absorbida es transferida al semiconductor. La energía golpea los electrones libres permitiéndoles fluir.

Todas las celdas tienen uno o más campos eléctricos que actúan para forzar a los electrones liberados por la acción de la luz para fluir en una cierta dirección. Este flujo de electrones es una corriente y poniendo los contactos de metal en la parte superior e inferior de la celda se puede guiar la corriente para usarla externamente. Esta corriente junto con el voltaje de la celda define la potencia que puede entregar la celda solar.

La unión de varias celdas fotovoltaicas conforma un panel fotovoltaico, el cual es capaz de transformar la radiación solar a energía eléctrica en mayor magnitud y así poder establecer una fuente de energía eléctrica limpia y sustentable.

2.2.1.5 Tipos de celdas fotovoltaicas

a) Células de silicio monocristalino

Estas células son de silicio monocristalino puro. En estas células, el silicio tiene una única estructura de red cristalina continua casi sin defectos ni impurezas. La principal ventaja de las células monocristalinas es su alta eficiencia, que típicamente es de alrededor del 15%. La desventaja de estas células es que se requiere un complicado proceso de fabricación para producir silicio monocristalino, lo que se traduce en costes ligeramente superiores a los de otras tecnologías.

b) Células de silicio policristalino

Las células policristalinas se producen utilizando numerosos granos de silicio monocristalino. En el proceso de fabricación, el silicio policristalino fundido se cuela en lingotes, que posteriormente se cortan en obleas muy delgadas y se ensamblan en células completas. Las células policristalinas son más baratas de producir que las monocristalinas debido a que se requiere un proceso de fabricación más simple. Sin embargo, son un poco menos eficientes que las células fotovoltaicas monocristalinas, con una eficiencia media de alrededor del 12%.

c) Silicio amorfo

Generalmente, la diferencia principal entre estas células y las anteriores es que en lugar de la estructura cristalina, las células de silicio amorfo están compuestas de átomos de silicio en una capa homogénea delgada. Además, el silicio amorfo absorbe la luz con mayor eficacia que el silicio cristalino, lo que conduce a células más delgadas, conocidas también como tecnología fotovoltaica de película delgada. La mayor ventaja de estas células es que el silicio amorfo puede ser depositado sobre una amplia gama de sustratos, tanto rígidos como flexibles. Su desventaja es la baja eficiencia, que es del orden de 6%. Hoy en día, los paneles fabricados a partir de células solares de silicio amorfo vienen en una variedad de formas, tales como tejas, que pueden sustituir las baldosas normales de ladrillo en un techo solar.

2.2.1.6 Fabricación de las células fotovoltaicas

Para fabricar células FV cristalinas simples, se toma el silicio, uno de los elementos más abundantes de la tierra, se purifica y se le hace crecer en una estructura cristalina. El silicio, en su forma pura, es un semiconductor es decir sus propiedades eléctricas caen entre las de un conductor de la electricidad. Al añadirle impurezas especiales al silicio a través de un proceso

conocido como “dopado”, se modifican las propiedades naturales del silicio para facilitar el flujo eléctrico. Las impurezas boro y fósforo dispersas en el silicio crean un desbalance permanente en la carga molecular, y por consiguiente aumenta en la carga molecular, y por consiguiente aumenta la habilidad del silicio de conducir los electrones.

Una vez que el silicio ha crecido por el método de Czochralski en una masa cristalina de forma cilíndrica, se rebaba en obleas. Las obleas son entonces dopadas con boro o fósforo. Cuando el boro que presenta déficit de un electrón se difunde en el silicio y crea un material cargado positivamente (material tipo-P). Cuando el fósforo, que tiene exceso de electrones, se difunde en el silicio y crea un material cargado negativamente (material tipo-N). Una célula solar cristalina es una oblea dopada por un lado con boro (+) y por el otro lado con fósforo (-). La región creada entre las capas positiva y negativa recibe el nombre de juntura P-N. Cuando la luz solar incide sobre una celda, “golpea” suavemente liberando electrones de la capa de silicio. Los electrones excitados son atraídos a la capa cargada positivamente por el boro creando una carga eléctrica estática. Los electrones sueltos crean una tensión eléctrica en la juntura P-N u comienzan a fluir a través de los contactos de metal empotrados en la célula. Todos los contactos en la célula se unen en un cable que conecta el frente de una célula con el reverso de otra en el módulo. Este circuito eléctrico permite a los electrones fluir a través de las juntas P-N de cada celda aumentando el voltaje con cada celda que se conecta en serie.

El incremento de voltaje que ocurre en la juntura P-N de cada celda tiene una fuerza electromotriz de aproximadamente medio volt. El voltaje de la celda es independiente del tamaño de la celda, aunque la corriente está afectada por el área de la celda y la intensidad de la luz solar. A mayor área de la celda mayor será la corriente que se produce.

Cada fabricante de módulos fotovoltaicos usa diseños y métodos de construcción específicos para componer las obleas, se integran con contactos de metal para barrer los electrones hacia el circuito eléctrico. Las celdas son recubiertas con un revestimiento anti reflectante para aumentar la absorción de la luz solar. Las celdas individuales se colocan entonces en un apoyo y se conectan para obtener los voltajes y corrientes deseados. Esta configuración de celdas es colocada en un marco y encapsulada para formar una armazón estructural y para protegerla de los factores ambientales.

2.2.1.7 Desempeño de los módulos

La energía eléctrica total de salida (potencia o wattaje) de un módulo fotovoltaico es igual al producto de multiplicar el voltaje operativo de salida por la corriente operativa. Los módulos fotovoltaicos pueden producir corriente en un amplio rango de voltajes, al contrario de

fuentes de voltaje como las baterías que producen la corriente a un voltaje relativamente constante. Las características de salida de cualquier módulo dado están representadas por una curva de respuesta, llamada curva I-V, que muestra la relación entre las salidas de corriente y voltaje.

La mayoría de las curvas I-V están dadas por las condiciones de prueba normalizada (STC o Standard Test Conditions) de 1000 W/m² de radiación (muchas veces referidos como un sol pico) y 25 °C (77 °F) de temperatura en la celda. Debe notarse que STC representa las condiciones más optimas como un medio consistente de medición; esas condiciones se dan raras veces en el ambiente exterior. Las curvas I-V contienen tres puntos significativos:

- Punto de máxima potencia, representando ambos (V_{mp} e I_{mp})
- Voltaje de circuito abierto (V_{oc})
- Corriente de corto circuito (I_{sc})

2.2.1.8 Rendimiento del panel

La intensidad de corriente que genera el panel aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje aproximadamente constante. En este sentido tiene mucha importancia la colocación de los paneles (su orientación e inclinación respecto a la horizontal), ya que los valores de la radiación varían a lo largo del día en función de la inclinación del sol respecto al horizonte.

El ángulo de inclinación permite aumentar la cantidad de radiación perpendicular incidente sobre un plano colector, como se ha indicado en la definición de irradiación global sobre un plano inclinado. Uno de los factores más importantes para determinar el ángulo de inclinación es la ubicación geográfica de la localidad y la posición relativa del sol durante el transcurso del año.

La orientación del plano, por su parte, deber ser hacia el norte astronómico, para las localidades del hemisferio Sur.

2.2.2 Regulador de carga

Un regulador de carga, también conocido como controlador de carga (ver Figura 2-18), es un dispositivo electrónico esencial en los sistemas de energía solar fotovoltaica. Su función principal es controlar y regular la carga de energía proveniente de los paneles solares hacia las baterías de almacenamiento.



Fuente: www.google.com

Figura 2- 18: Regulador de carga TX1220

2.2.2.1 Parámetros y características

El dispositivo es un regulador PWM de procedencia chino, modelo TX1220. Esta serie se basa en el método de carga de modulación de ancho de pulso (PWM) en serie, adopta tecnología totalmente digital, pantalla de cristal líquido y diseño de interfaz USB dual, modo de operación completamente automático, ampliamente utilizado en el sistema de generación de energía. Las características del producto son las siguientes:

- Identificación automática del voltaje del sistema 12VDC / 24VDC.
- Modo de carga PWM inteligente de cuatro etapas: carga rápida, carga mejorada, carga equilibrada, carga flotante.
- La pantalla LCD viene con retroiluminación, y el símbolo gráfico muestra los parámetros operativos y el estado de funcionamiento del dispositivo (ver Tabla 2-1).
- Operación simple del botón, parámetros de carga y descarga del sistema ajustables.
- Admite una gran variedad de tipos de baterías como plomo ácido y litio.
- Múltiples modos de trabajo de carga: modo manual, modo de control de luz, modo de control de luz de marcha atrás, modo de control de tiempo dual.
- Compensación automática de la temperatura del voltaje del sistema, carga en tiempo real y estadísticas de KWH de potencia de descarga.
- Doble interfaz de carga USB 5VDC / 2A .
- Función de protección electrónica integral.

Tabla 2- 1:Parámetros de regulador de carga

Entrada CC maxima	<50V
Voltaje bateria	12/24V auto
Corriente carga max.	20A
Corriente descarga max.	20
Float charge	13,7V modificable
Detención descarga	10,7V modificable
Reconecion de carag	12,6V modificable
USB output	5V/3A
Consumo servicio	<10mA
Temperatura operación	-35° - +60°C
Tamaño	150*78*35mm
peso	150grs

Fuente: Manual de usuario regulador de carga TX1220

2.2.2.2 Funcionamiento de un regulador de carga

El regulador de carga actúa como un intermediario entre los paneles solares y las baterías, garantizando un flujo de energía adecuado y protegiendo tanto las baterías como los paneles solares. Su principal tarea es prevenir situaciones indeseables, como sobrecargas o descargas excesivas de las baterías, que pueden dañar su rendimiento y vida útil.

Existen diferentes tipos de reguladores de carga, pero los más comunes son los reguladores de carga PWM (Modulación por Ancho de Pulso) y los reguladores de carga MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia). Los reguladores PWM controlan el flujo de energía mediante la modulación del ancho de pulso de la corriente entregada a las baterías, mientras que los reguladores MPPT optimizan el punto de máxima potencia de los paneles solares para obtener la máxima eficiencia en la carga de las baterías.

Además de regular la carga, muchos reguladores de carga también incluyen funciones de monitoreo y protección. Estas funciones pueden incluir la visualización de datos de carga y estado de las baterías, protección contra sobretensiones, protección contra cortocircuitos y protección contra descargas profundas de las baterías.

En resumen, un regulador de carga es un dispositivo clave en los sistemas de energía solar fotovoltaica que asegura una carga adecuada de energía solar hacia las baterías, protegiendo así tanto los paneles solares como las baterías de daños potenciales y optimizando la eficiencia del sistema.

2.2.3 Protección DC

Para que una instalación eléctrica sea segura, es fundamental incorporar las protecciones adecuadas que salvaguarden la integridad de personas, entornos, bienes y componentes eléctricos. El automático utilizado es de la marca TOMZN modelo TOB7Z-63 (ver Figura 2-19), cuya corriente nominal es de 10A.



Fuente: <https://bramanic.cl/>

Figura 2- 19: Automático DC

Esta protección eléctrica es la solución perfecta para proteger cortocircuitos y sobrecargas eléctricas en sistemas de corriente continua, como, por ejemplo: Proyectos de energía o iluminación solar, instalaciones domésticas, tableros comerciales, entre otros. Posee un diseño funcional y ergonómico, fácil de usar en conjunto con un riel Din y con claras marcas de posición. Cabe destacar que, en el automático de 2 polos, tanto el polo negativo como el polo positivo operan de forma simultánea, lo que aumenta la protección del sistema y disminuye aún más los riesgos de electrocución.

El voltaje operacional máximo de este interruptor termomagnético (considerando la tolerancia) es de 440VDC, y como mínimo es de 12VDC, mientras que la corriente nominal es de 10A con una pérdida de eficiencia de 5W.

Características Automático DC 2 Polos 10A:

- Cantidad de Polos: 2
- Tensión Nominal: 440 VDC
- Corriente Nominal: 10 A
- Dimensiones: 8x7x1,8 cm
- Curva tipo: C 5-10In (dispara entre 5 y 10 veces la corriente nominal)
- Cableado: Apto hasta 25mm²

2.2.4 Batería

La función de la batería es la de acumular la energía eléctrica que se necesita para que arranque el sistema y funcione correctamente en todo momento.

Para la estimación de los componentes hay que tener datos referentes de la carga, como son la energía consumida diaria total (W*H). (ver Tabla 2-2)

Tabla 2- 2:Energía consumida

Carga	Energía unitaria W*h	Unidades	Energía total W*h	Horas de funcionamiento	Energía diaria W*h
Esp32	0.972 (240mA)	1	0.972	24	19,008
Pantalla lcd2x16	0.125 (25mA)	1	0.125	24	3
Lora sx1278	0.396 (120mA)	1	0.396	24	9,504
Regulador de carga	0.12	1	0.12	24	2,88
TOTAL					34,39

Fuente: Elaboración propia en base a consumo de componentes

Como la Energía máxima de descarga es de 34,39Wh al día, la batería seleccionada es de 7 A*h, lo que quiere decir, que en un día normal el consumo extraído o la descarga de la batería es de un 40,94% en el peor de los casos, lo que es bueno ya que no acorta la vida útil de la batería. Además, esto nos dice que el sistema podría funcionar 2,5 días si es que no se recarga a la batería, lo cual no ocurre en ningún caso.

$$\text{Energía} = 7 [\text{A} * \text{h}] \times 12[\text{V}] = 84[\text{W} * \text{h}]$$

Se utilizó la batería HQ12N7-3A (ver Figura 2-20), debido a que es pequeña y de bajo costo, ya que el sistema no requiere de mucho consumo energético y además se recarga durante el día gracias al panel solar mediante el regulador de carga.



Fuente: <https://www.bikercompany.cl/>

Figura 2- 20: Batería HQ 12N7-3A

Se observa que esta batería hace correlación con el panel solar de 15[W] mencionado anteriormente, ya que, si se toma como luz solar efectiva de 5,5horas al día en donde el panel produce energía solar fotovoltaica, tenemos:

$$\text{Energía} = 15[\text{W}] \times 5,5[\text{h}] = 82,5[\text{W} * \text{h}]$$

2.3 PROGRAMACIÓN Y CONEXIÓN

Para poder programar el Esp32 se necesita tener instalado Arduino IDE, el cual se puede descargar directamente de la página de Arduino. Una vez descargado se procederá a realizar las configuraciones iniciales.

- Dirigirse a la pestaña de Arduino llamada “Archivo” y Dar clic en “Preferencias”.
- En la sección URLs adicionales de gestor de placas, se pega el siguiente link:
https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json
- Si hay otra URL colocar una coma al final, dar un espacio y pegar la URL anterior.
- Dar clic en Ok.
- Ahora se debe ir a la pestaña de Arduino llamada “Herramientas”
- Dar clic en “Placa:” y después a “Gestor de Placas”
- Saldrá una ventana, buscar las placas “esp32 by Espressif Systems” e instalarla.
- Ahora el esp32 ya está listo para ser utilizado.
- De ser necesario se pueden instalar otras librerías correspondientes a otros dispositivos y sensores.

Para mayor detalle del código de programación utilizado en el esp32 Lector y esp32 Controlador revisar el ANEXO-B “Código Esp32 Lector” y el ANEXO-C “Código Esp32 Controlador”

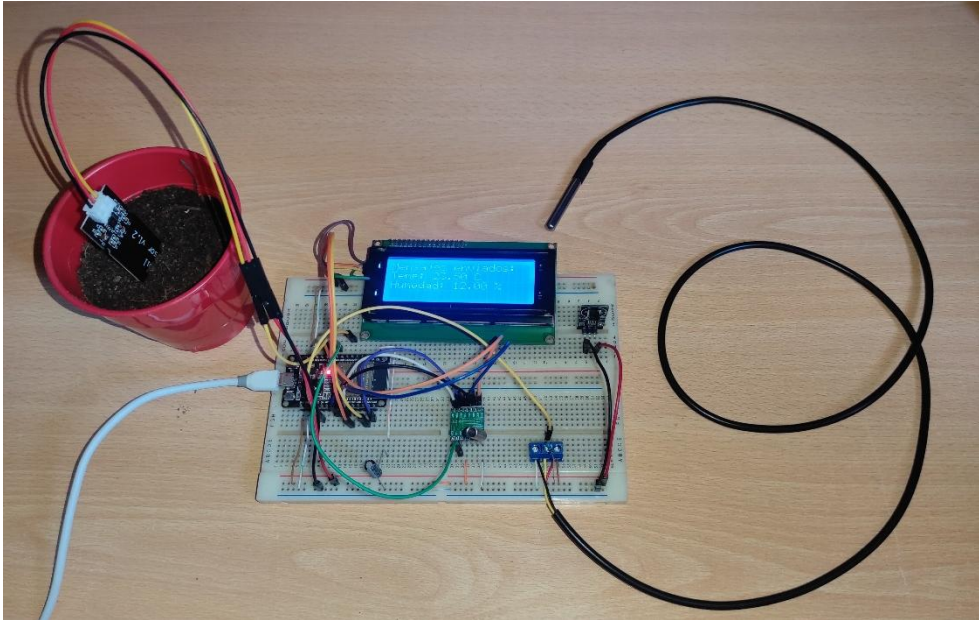
2.3.1 Prototipo de dispositivo lector de datos y emisor

A continuación, se incluye una fotografía que muestra el conjunto de dispositivos utilizados en el sistema lector y emisor de datos (ver Figura 2-21). Este conjunto está compuesto por un ESP32 configurado como lector, el cual es responsable de procesar los datos obtenidos por el sensor de temperatura y humedad.

Dichos valores son visualizados en una pantalla LCD conectada al mismo ESP32, lo que permite un monitoreo local en tiempo real. Además, los datos de temperatura son enviados de

manera serial SPI al módulo transmisor LoRa SX1278 Emisor, el cual se encarga de transmitir la información de manera inalámbrica a largas distancias.

Esta transmisión está dirigida a un dispositivo LoRa SX1278 Receptor, permitiendo de esta manera la recepción y procesamiento de la información enviada.



Fuente: Elaboración propia en base a diseño de sistema lector y emisor

Figura 2- 21: Prototipo del Conjunto de dispositivos lector y emisor

Para mayor detalle de conexión revisar ANEXO-D “Diagramas Lector y Emisor”

2.3.2 Prototipo de dispositivo receptor de datos y controlador

A continuación, se presenta una fotografía del sistema receptor y controlador (ver Figura 2-22) que forma parte del proyecto. Este sistema está compuesto por un ESP32 controlador, el cual trabaja en conjunto con un módulo LoRa SX1278 receptor, para recoger de manera inalámbrica los datos transmitidos desde el dispositivo emisor.

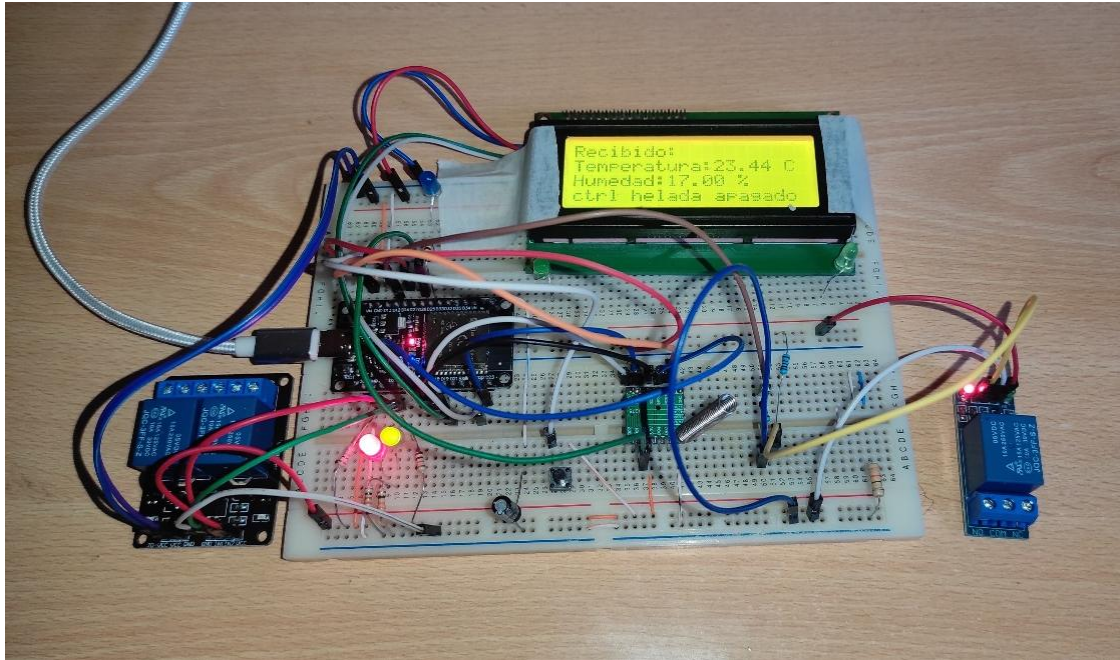
Una vez que el ESP32 controlador procesa la información recibida, esta puede ser visualizada en una la pantalla LCD incorporada en el circuito, permitiendo el monitoreo directo de los valores de temperatura y humedad.

Adicionalmente, el sistema receptor cuenta con un indicador visual, en este caso un LED azul conectado al pin GPIO25, que se activa como respuesta a la recepción de los datos durante 0,2 segundos.

Este conjunto asegura una recepción confiable y un control eficiente de las condiciones monitoreadas.

Los pines del controlador que permiten activar los actuadores se encuentran conectados con un relé optoacoplador de 2 canales el cual es activo low, y que al activarse son los encargados de accionar la electroválvula y encender la bomba para el control de las heladas.

El sistema también cuenta con un relé común activo high, capaz de encender la bomba de agua, para poder realizar el riego de manera normal, sin necesidad de activarla de forma presencial.



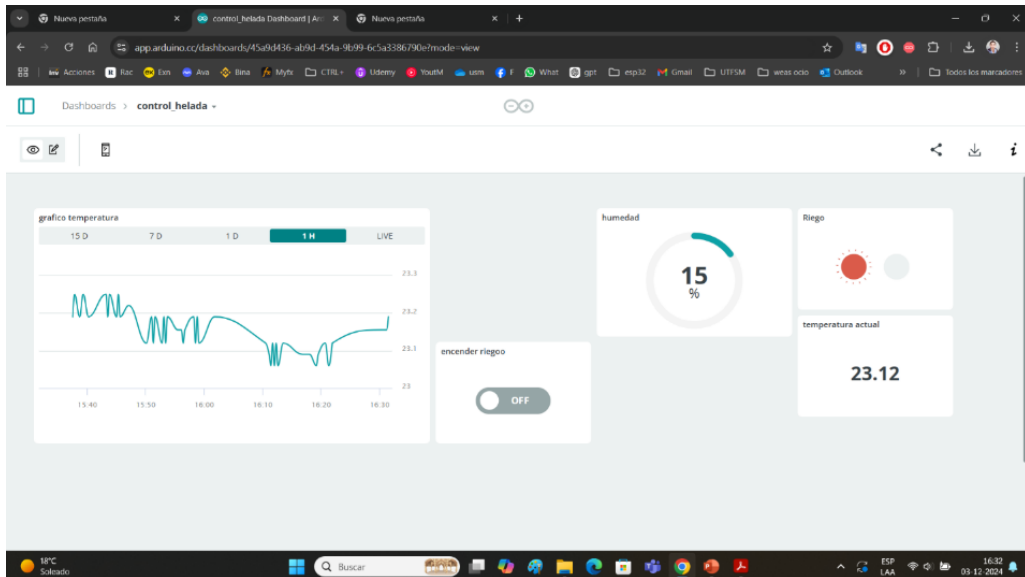
Fuente: Elaboración propia en base a diseño receptor

Figura 2- 22: Prototipo del Conjunto de dispositivos receptor y controlador

Para mayor detalle de conexión revisar ANEXO-E “Diagramas Receptor y Controlador”

2.4 SISTEMA DE MONITOREO

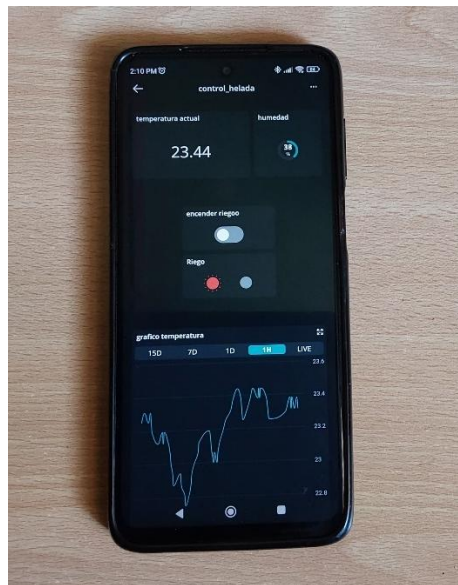
El sistema utilizado para el seguimiento de los datos fue la plataforma en línea llamada Arduino Cloud, el cual es ideal para crear el sistema de monitoreo remoto, ya que permite integrar dispositivos Arduino y ESP32 para recoger datos de los sensores, procesarlos y visualizar datos en la nube en tiempo real (ver Figura 2-23). Esto facilita la toma de decisiones informadas y el control a distancia de diferentes tipos de procesos.



Fuente: Elaboración propia en base a diseño de programación

Figura 2- 23: Dashboards de Arduino Cloud vista PC

También está la opción de descargar la aplicación oficial de Arduino para celular llamada "Arduino IoT Cloud Remote", la cual permite realizar el monitoreo desde cualquier dispositivo móvil (ver Figura 2-24).



Fuente: Elaboración propia en base a diseño de programación

Figura 2- 24: Monitoreo desde aplicación móvil

Desde ambas plataformas es posible monitorear las variables y activar el sistema de riego de forma remota mediante el interruptor "encender riego". Esto facilita el control del riego desde cualquier dispositivo, sin importar la ubicación en el mundo, siempre que se disponga de acceso a internet.

2.5 PRUEBAS DE MEDICIÓN DEL PROTOTIPO

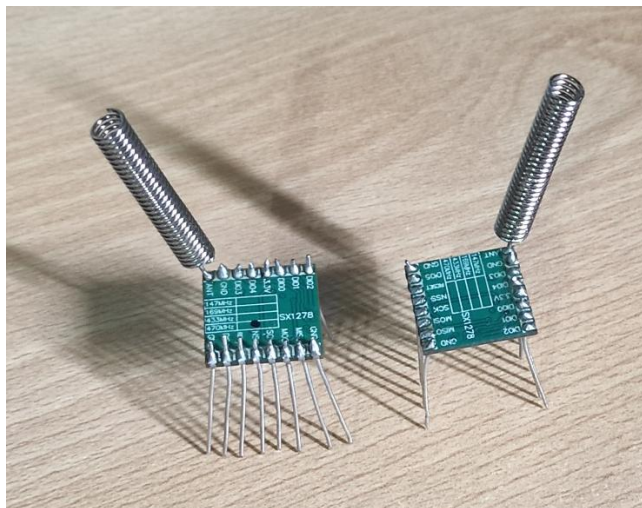
Se llevaron a cabo diversas pruebas para evaluar la distancia a la que se pueden recibir datos de temperatura y humedad utilizando el módulo LoRa SX1278. Para ello, se probaron diferentes antenas con distintas ganancias: la antena original con la que viene la placa es una antena de resorte de 1.5 dBi, una de 2 dBi, otra de 3 dBi y una de 7 dBi. Además, se realizó una prueba específica con la antena de 7 dBi instalada a una altura de 4 metros, con el objetivo de analizar el impacto de la elevación en la calidad y alcance de la señal.

El dispositivo Lora sx1278 emisor se encontraba ubicado en una habitación donde el esp32 se estaba energizando con el computador.

El dispositivo receptor fue el que se desplazó a distintas posiciones, gracias a una batería portátil de 10.000 mA que alimentaba al esp32 controlador.

2.5.1 Prueba antena 1,5dbi

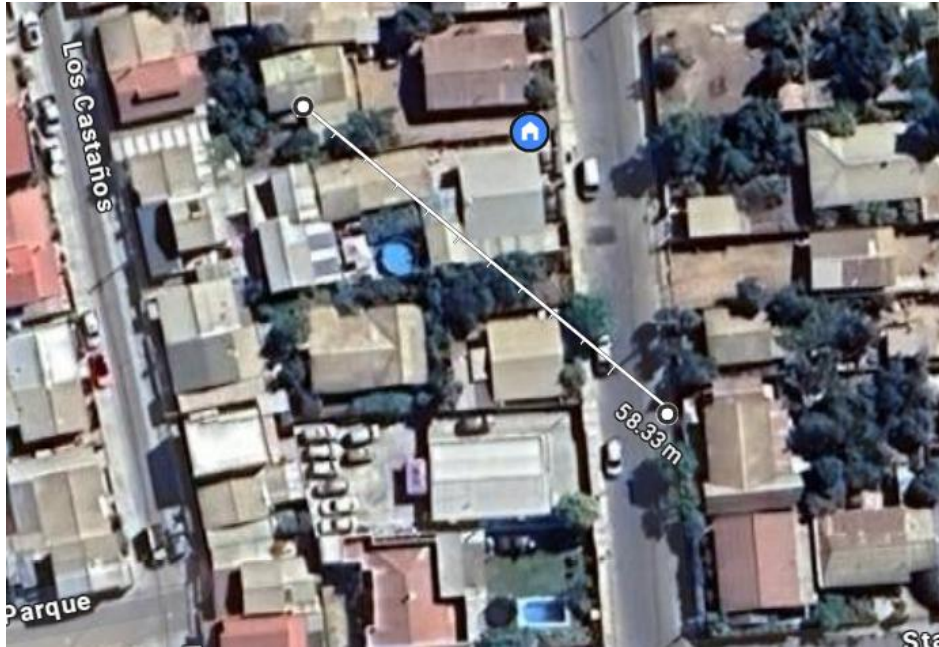
La primera prueba que se realizó fue con la antena original de resorte simple que viene con el dispositivo (ver figura 2-25), ésta es una antena pequeña que mide 38mm de largo, 1.5dBi de ganancia e impedancia de 50 ohm, usada en redes de 400-450Mhz.



Fuente: Elaboración propia tomada dispositivos a lora sx1278 con su antena resorte

Figura 2- 25: Antena resorte Original del dispositivo de 1,5dBi

Como se observa en la (figura 2-26) se alcanzó una distancia de 58 metros lineales con obstáculos entre cada dispositivo Lorasx1278, después de esa distancia el dispositivo empezó a perder la recepción de datos.



Fuente: Elaboración propia, captura de Google maps en base a distancia de prueba 1

Figura 2- 26: Distancia de recepción de datos prueba 1

2.5.2 Prueba antena 2dbi

La segunda prueba que se realizó fue con la antena pequeña de 2dBi de ganancia (ver Figura 2-27), ésta es una antena pequeña que mide 47mm de largo tiene una impedancia de 50 ohm, es usada en redes de 915Mhz (la cual no es la óptima para este módulo Lora) y cuenta con conector SMA.



Fuente: Elaboración propia sacada a antena pequeña

Figura 2- 27: Antena pequeña de 1,5dBi

Como se observa en la (figura 2-28) se alcanzó una distancia de 86 metros lineales con obstáculos entre cada dispositivo Lorasx1278, después de esa distancia el dispositivo empezó a perder la recepción de datos.



Fuente: Elaboración propia, captura de Google maps en base a distancia de prueba 2

Figura 2- 28: Distancia de recepción de datos prueba 2

2.5.3 Prueba antena 3dbi

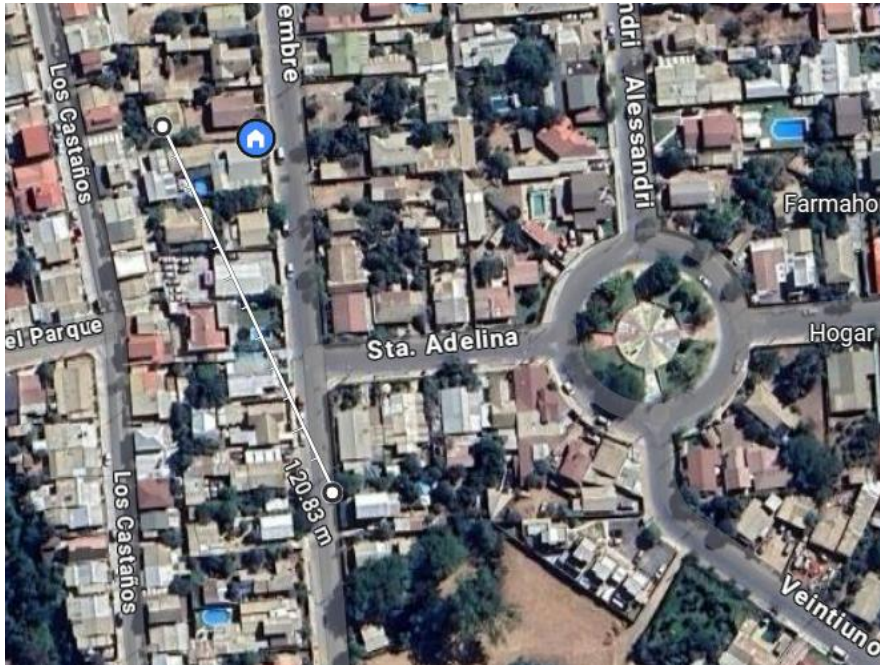
La tercera prueba que se realizó fue con la antena mediana de 3dBi de ganancia (ver Figura 2-29), ésta es una antena pequeña que mide 108mm de largo tiene una impedancia de 50 ohm, es usada en redes de 433Mhz y cuenta con conector SMA.



Fuente: Elaboración propia en base a distancia de prueba 3

Figura 2- 29: Monitoreo desde aplicación móvil

Como se observa en la (figura 2-30) se alcanzó una distancia de 120 metros lineales con obstáculos entre cada dispositivo Lorax1278, después de esa distancia el dispositivo empezó a perder la recepción de datos.



Fuente: Elaboración propia, captura de Google maps en base a distancia de prueba 3

Figura 2- 30: Distancia de recepción de datos prueba 3

2.5.4 Prueba antena 7dbi

La cuarta prueba que se realizó fue con la antena de 7dBi de ganancia (ver figura 2-31), ésta es una antena que mide 170mm de largo tiene una impedancia de 50 ohm, es usada en redes de 433Mhz y cuenta con conector SMA y una base imantada de soporte.



Fuente: Elaboración propia en base a distancia de prueba 4

Figura 2- 31: Monitoreo desde aplicación móvil

Como se observa en la (figura 2-32) se alcanzó una distancia de 226 metros lineales con obstáculos entre cada dispositivo Lorasx1278, después de esa distancia el dispositivo empezó a perder la recepción de datos.



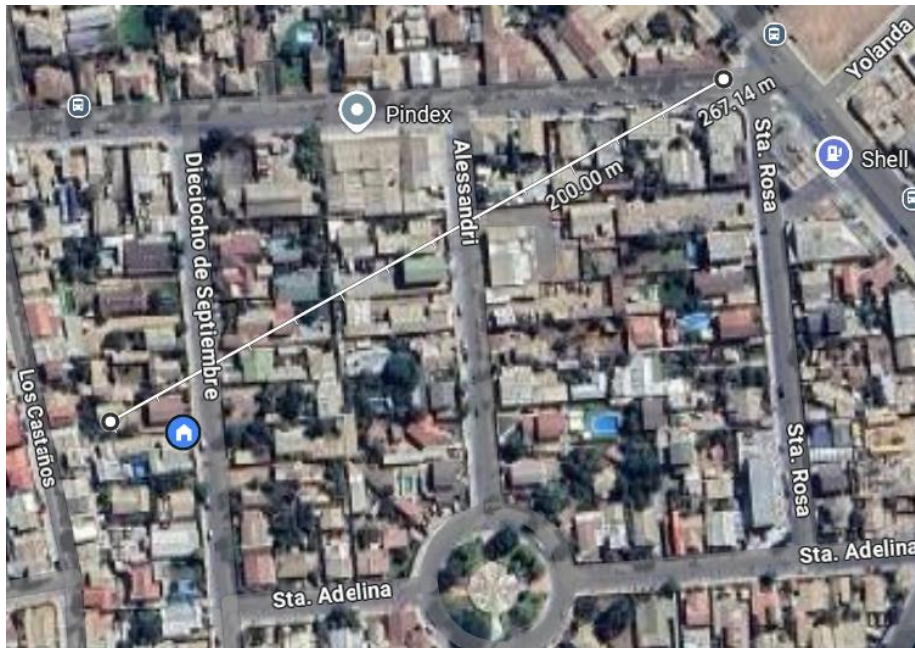
Fuente: Elaboración propia, captura de Google maps en base a distancia de prueba 4

Figura 2- 32: Distancia de recepción de datos prueba 4

2.5.5 Prueba antena 7dbi a 4mts de altura

La quinta prueba se realizó utilizando la misma antena de la prueba 4, de 7dbi (ver figura 2-31), pero esta vez se instaló en la punta de un mástil de 4 metros de altura gracias a que esta antena viene de fabrica con 3 metros de largo de cable.

Como se observa en la (Figura 2-33) se alcanzó una distancia de 267 metros lineales con obstáculos entre cada dispositivo Lorasx1278, después de esa distancia el dispositivo empezó a perder la recepción de datos.



Fuente: Elaboración propia, captura de Google maps en base a distancia de prueba 5

Figura 2- 33: Distancia de recepción de datos prueba 5

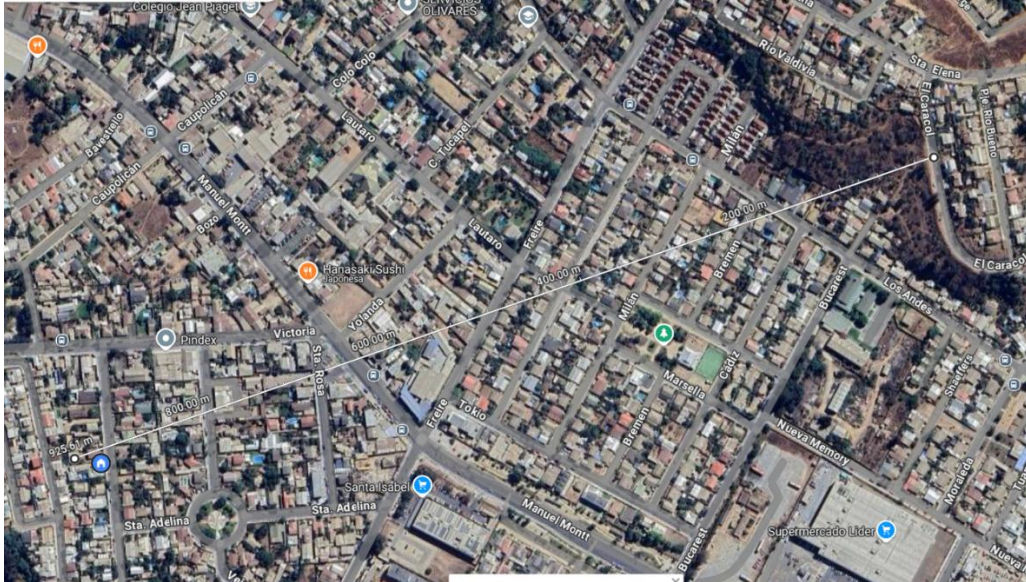
No está demás volver a mencionar que todas estas pruebas se realizaron en un entorno poblado, donde las mediciones no se llevaron a cabo en condiciones ideales de “línea de vista directa”. Por el contrario, se efectuaron en un escenario con múltiples obstáculos intermedios, tales como panderetas, árboles y casas, los cuales redujeron significativamente la propagación de la señal y la distancia efectiva de comunicación.

2.5.6 Prueba antena 7dbi a 4mts de altura a línea vista

La sexta y la última prueba se realizó utilizando la misma antena de la prueba 4 y 5, de 7dbi (ver figura 2-31), instalada en la punta de un mástil de 4 metros. Pero esta vez se realizó una prueba a “línea vista” Como se observa en la (Figura 2-34) se alcanzó una distancia de 925 metros lineales entre cada dispositivo Lorasx1278, cabe mencionar que debido a las características del terreno fue difícil hallar un lugar que cuente con un tramo recto de gran distancia y sin obstáculos, por lo que no se pudo realizar una prueba de comunicación con una distancia mayor.

Esta prueba se realizó al costado de una pequeña cuesta con vista panorámica de la ciudad ubicada la calle “El Caracol” de la población Almirante Wilson de Peñablanca gracias a que esta queda ubicada en un pequeño cerro.

Por lo que no se pudo corroborar la distancia máxima en la cual el dispositivo podría empezar a perder la recepción de datos.



Fuente: Elaboración propia, captura de Google maps en base a distancia de prueba 6

Figura 2- 34: Distancia de recepción de datos prueba 6

Es importante destacar que, para los fines específicos del proyecto de control de heladas en el cultivo de papayas, las condiciones del terreno son considerablemente diferentes. En el área de implementación, el terreno es predominantemente plano y abierto, con una distancia máxima entre el sistema emisor y receptor de 191 metros (ver Figura 2-35).

Bajo estas circunstancias, se puede afirmar con confianza que el proyecto cumple plenamente con los objetivos de comunicación planteados, demostrando ser 100% funcional en las condiciones previstas para su uso real. Esto garantiza la eficacia del sistema para el monitoreo y control de heladas, asegurando su fiabilidad en el entorno operativo para el cual fue diseñado.



Fuente: Elaboración propia, captura de Google maps en base a distancia entre emisor y receptor

Figura 2- 35: Distancia entre dispositivos lora sx1278 emisor y receptor

CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO

3 ESTUDIO ECONÓMICO

Para evaluar si el sistema de control de heladas para el cultivo de papayas es financieramente viable y rentable, es esencial realizar una evaluación económica completa. Este análisis incluye la evaluación de costos y beneficios, así como la determinación de la rentabilidad esperada y la tasa de retorno de la inversión.

En este caso, se consideran los costos asociados con los materiales, como sensores, módulos LoRa, ESP32 y sistemas de energía, además de los insumos necesarios para su implementación y las horas de trabajo requeridas (HH). Asimismo, se evalúan los beneficios económicos potenciales, como la protección de los cultivos frente a heladas, la reducción de pérdidas de producción y la mejora de la eficiencia operativa al reducir la dependencia de métodos tradicionales como fogatas manuales.

Para obtener un análisis más detallado, se emplea un método económico como el flujo de caja, considerando únicamente la inversión realizada por el agricultor, ya que este estudio no incluye préstamos, créditos ni fuentes externas de financiamiento. A través del método de déficit acumulado máximo, se calcula el capital de trabajo necesario, permitiendo un flujo de caja que refleje de manera realista la implementación y el impacto económico del sistema en el mercado.

Este enfoque es ampliamente utilizado en estudios de factibilidad y prefactibilidad, proporcionando un marco confiable para tomar decisiones fundamentadas sobre la viabilidad financiera del proyecto.

3.1 DETERMINACIÓN DE COSTOS

Un análisis de costos preciso es fundamental para cualquier proyecto, ya que permite una evaluación completa de todos los gastos involucrados, desde la fase inicial de diseño hasta la finalización del proyecto.

Para justificar adecuadamente los costos y evitar que el valor de los materiales se deprecie con el tiempo, los precios fueron ajustados a valores expresados en UF. (ver tabla 3-1)

Tabla 3- 1: Valor del precio de la UF

Valor del precio de la UF al día 16-12-2024	
Valor UF	38.379,57

Fuente: https://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2024.htm

Además, para entender de mejor manera fue necesario dividir los gastos en categorías específicas, los cuales son:

- **Costos de diseño:** Incluyen los gastos relacionados con la planificación, diseño, la elaboración de los planos del proyecto, los materiales utilizados en el prototipo y la mano de obra utilizada para desarrollar el diseño.
- **Costos de implementación:** Incluyen los gastos relacionados con implementación de lo ya diseñado, los materiales que se utilizarán, los gastos por la contratación de personal para la realización del proyecto, incluyendo salarios y colaciones.

3.1.1 Costos de diseño

En la etapa de diseño, la planificación del servicio estará dividida en los puntos importantes y se podrán observar más abajo (ver Tabla 3-2).

Las actividades de diseño serán realizadas por un Ingeniero de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial, quien deberá recopilar toda la información necesaria para el diseño del proyecto.

En breve, se presenta la carta Gantt de las actividades la cual consta de 8 horas al día.

Tabla 3- 2: Carta Gantt del diseño del proyecto

tiempo (horas)	día 1		día 2		día 3		día 4		día 5		día 6		día 7		día 8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Análisis y Definición de Requisitos																
Revisión del problema y contexto local	█															
Planteo de posibles soluciones	█															
Definir parametros del sistema (variables)	█	█														
Elección de materiales y componentes necesarios para la solución escogida		█	█	█	█											
Diseño Conceptual del Sistema																
Realizar diagrama de bloque general del sistema		█	█													
buscar informacion de los dispositivos a usar		█	█	█	█											
diseño del flujo de trabajo: detección, comunicación y activacion				█	█											
diseño de circuitos electricos				█	█											
Diseño de Hardware																
Selección y especificación de componentes electrónicos				█	█	█	█									
Diseño preliminar del circuito eléctrico							█	█								
Simulación y validación del circuito eléctrico.							█	█								
Diseño de Software																
Definición de la lógica de programación.								█	█							
Diseño del código para la lectura y envío de datos								█	█	█	█					
Diseño del código para la recepcion de datos y actuación										█	█	█	█			
Integración del Sistema																
Pruebas de funcionamiento del sistema completo de manera local													█	█		
Adaptar codigo a la nube de arduino														█	█	
Pruebas de funcionamiento del sistema completo a distancia con envíos de datos a la nube															█	█
Documentación del Diseño																
Procesar los datos enviados a la nube																█

Fuente: Elaboración propia en base a horas de ejecución de cada actividad para el diseño

Según las actividades realizadas en la carta Gantt se realizaron 61 horas de trabajo, las cuales serán remuneradas de manera proporcional, según el especialista escogido para el diseño, el cual será detallado en el ítem: costos de mano de obra de diseño.

3.1.1.1 Costos materiales de diseño

Estos costos hacen referencia a todos los materiales y equipos necesarios para realizar el diseño y las pruebas del proyecto. (ver Tabla 3-3)

Tabla 3- 3: Materiales utilizados para el diseño del proyecto

Materiales utilizados en el diseño					
Ítem	Cantidad	Medida	Valor (\$)	Valor total (\$)	Valor total (UF)
Sensor de humedad anticorrosivo	1	u.	7.974	7.974	0,2078
Sensor de temperatura encapsulado	1	u.	1.680	1.680	0,0438
Esp32	2	u.	5.453	10.906	0,2842
Lora SX1278	2	u.	7.134	14.268	0,3718
Pantalla LCD 20x4	2	u.	8.235	16.470	0,4291
Leds	3	u.	34	102	0,0027
Resistencia 330 ohm	3	u.	34	102	0,0027
Resistencia 4,7K ohm	1	u.	34	34	0,0009
Resistencia 10K ohm	2	u.	34	68	0,0018
Resistencia 1K ohm	2	u.	34	68	0,0018
Transistor 2N2222A	1	u.	130	130	0,0034
Protoboard 830 pines	4	u.	3.352	13.408	0,3494
Condensador 10µf	2	u.	1.252	2.504	0,0652
Relé octocoplador 2 canales	1	u.	2.125	2.125	0,0554
Relé 1 canal	1	u.	1.647	1.647	0,0429
Botón pulsador	1	u.	160	160	0,0042
Cables Dupont pack 40	1	u.	1.010	1.010	0,0263
Cable USB a tipo C /micro USB	2	u.	1.672	3.344	0,0871
Antena 1.5 dBi	2	u.	1.344	2.688	0,0700
Antena 2 dBi	2	u.	1.467	2.934	0,0764
Antena 3 dBi	2	u.	1.672	3.344	0,0871
Antena 7 dBi	2	u.	7.664	15.328	0,3994
Protección DC	1	u.	14.285	14.285	0,3722
			Subtotal	114.579	2,9854
			IVA (19%)	21770,01	0,5672
			Total	136.349	3,5526

Fuente: Elaboración propia en base al precio cotizado de cada producto para el diseño.

3.1.1.2 Costos mano de obra de diseño HH

Para realizar la ejecución del servicio se deberá contar con un profesional para la programación, cableado y el desarrollo de un prototipo inicial, es por esto por lo que se necesitara del siguiente profesional.

- 1 Ing. Ejec. en Control e Instrumentación Industrial

Para determinar el valor que se le pagará al ingeniero por el diseño, se utilizó como referencia la consulta del salario medio de un Ingeniero en Automatización en Chile, donde el salario es de \$1.293.288 al mes, Fuente: <https://cl.computrabajo.com/> , esto con fecha 16 de diciembre del 2024.

Como el pago se realiza por horas, lo que se hizo fue considerar el sueldo mensual y se asumió una semana laboral de 40 horas, con un total de 8 horas diarias y 1 mes de 4 semanas, dando un total de 160 horas mensuales. De esta manera se paga el proporcional a las horas trabajadas. (ver Tabla 3-4)

Tabla 3- 4: Pago a profesional por el diseño

Profesional requerido en el diseño					
Profesional	cantidad	Valor hora (\$)	N° de horas	Valor total (\$)	Valor total (UF)
Ing. Ejec. en Control e Instrumentación Industrial	1	8.083	61	493.066	12,85
Total				493.066	12,85

Fuente: Elaboración propia en base a salario que se recibiría por horas trabajadas en el diseño

3.1.2 Costos de implementación

En esta sección se analizan los tiempos y costos materiales asociados a la implementación del proyecto, en donde se consideran los siguientes cargos:

- 1 Ingeniero de ejecución en control e instrumentación industrial (a cargo del proyecto, configuración y conexión de dispositivos y realizar pruebas finales).
- 1 Técnico electricista (encargado de montaje del tablero de energización, control y conexión de dispositivos de fuerza).
- 1 Maestro gasfiter (encargado de instalación del sistema hidráulico).
- 2 Ayudantes (encargados de realizar zanjas, instalar postes y ayudar al maestro gasfiter).

Corresponden a los gastos de remuneración del personal para la realización del proyecto y los materiales que debiesen utilizarse para la implementación de éste.

Es por lo que la implementación del servicio estará dividida en los puntos importantes y se podrán observar más abajo (ver Tabla 3-5).

Las actividades de implementación serán realizadas por un Ingeniero de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial, un Técnico Electricista, un Maestro Gasfiter y dos ayudantes, los cuales se encargarán de realizar todas las actividades necesarias para la completa ejecución del proyecto.

A continuación, se presenta la carta Gantt de las actividades, la cual consta de 5 días hábiles a la semana.

Tabla 3- 5: Carta Gantt de implementación del proyecto

tiempo (días) Actividad	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
preparacion del sitio																		
Inspección del terreno y planificación de ubicaciones (postes, zanjas, microaspersores, etc.).	■																	
Marcado de puntos de instalación (postes y microaspersores).		■																
Instalación de Infraestructura Física																		
Excavación de zanjas para tubería de 50mm			■	■														
Excavación de hoyos para postes de aspersores			■	■														
Instalación de postes para situar los microaspersores en altura.					■	■	■											
Tendido de tuberías para el sistema hidráulico.								■	■	■	■							
Instalación del Sistema Hidráulico																		
Montaje de microaspersores en los postes												■	■	■	■			
Instalación de la electroválvula y conexión al sistema hidráulico.																■		
Prueba inicial del sistema hidráulico para verificar fugas y alcance de los microaspersores.																	■	
instalacion de sistema de energizacion del sistema lector y emisor																		
instalacion de poste para panel solar		■																
instalacion de panel solar			■															
Instalacion de tablero y bateria				■	■													
Probar que sistema carga corectamnete bateria						■												
Instalación del Sistema Electrónico																		
Montaje de tableros eléctricos							■	■										
Instalación de ESP32 y módulos LoRa SX1278 en tableros.									■									
Conexión de sensores de temperatura a los nodos ESP32.										■								
Instalación de contactores para activar el sistema hidráulico mediante la electroválvula.											■							
Configuración y Pruebas del Sistema																		
Configuración de los ESP32 y LoRa para comunicación												■						
Pruebas del sistema de detección de temperatura y activación automática.													■					
Capacitación y entrega del proyecto																		
Capacitación del personal sobre el uso y mantenimiento del sistema.																	■	
Documentación y entrega del sistema al cliente.																	■	
Monitoreo Inicial																		
Supervisión del sistema durante un período inicial para asegurar el funcionamiento.																	■	

Fuente: Elaboración propia en base a días de ejecución de cada actividad para la implementación

3.1.2.1 Costos materiales de implementación

Estos costos hacen referencia a los materiales y equipos necesarios de la etapa de implementación, para la correcta ejecución del proyecto. (ver tabla 3-6).

Tabla 3- 6: Dispositivos y materiales utilizados para la implementación del proyecto

Dispositivos y materiales que se utilizarían en la implementación					
Item	Cantidad	Medida	Valor (\$)	Valor total (\$)	Valor total (UF)
Panel solar 15W	1	u.	17.227	17.227	0,45
Perfil cuadrado 40x40x2mm 6m	1	u.	14.613	14.613	0,38
Cable RV-K 1x4mm	5	m	931	4.655	0,12
Regulador de carga	1	u.	13.509	13.509	0,35
Gabinete metalico 400x300x200mm	2	u.	37.806	75.612	1,97
Batería 7 A *H	1	u.	25.201	25.201	0,66
Electroválvula	1	32mm	142.800	142.800	3,72
Contactador 16A	4	u.	8.491	33.964	0,88
Aspersores 35 l/h	350	1/2"	2.817	985.950	25,69
Poste madera 4" x6mts	81	u.	25.642	2.077.002	54,12
Planza polietileno 50mm (2")	100	m	1.299	129.900	3,38
Planza polietileno 16mm (1/2")	1500	m	234	351.000	9,15
Accesorios planza 16mm (1/2")	81	m	1.000	81.000	2,11
Subtotal				3.952.433	102,98
IVA (19%)				750.962	19,57
Total				4.703.395	122,55

Fuente: Elaboración propia en base al precio cotizado de cada producto para la implementación.

3.1.2.2 Costos mano de obra de implementación HH

Para determinar el valor que se le pagará a cada profesional por la implementación del proyecto (ver Tabla 3-7), se utilizó como referencia la consulta del salario medio en Chile, Fuente: <https://www.chiletrabajos.cl/>, esto con fecha 16 de diciembre del 2024.

Donde el sueldo mensual medio se muestra a continuación:

- Ing. Ejec. en instrumentación y control industrial: sueldo medio \$1.293.288
- Técnico electricista: sueldo medio de \$727.259
- Maestro gasfiter: sueldo medio de \$678.849
- Ayudante: sueldo medio de \$496.851

Como el pago se realiza por días trabajados, lo que se hizo fue considerar el sueldo mensual y este se dividió en 20 días. De esta manera se paga el proporcional a los días trabajados.

Tabla 3- 7: Pagos a profesionales por la implementación

Profesionales requeridos en implementación					
Profesional	cantidad	Valor día (\$)	N° de días	Valor total (\$)	Valor total (UF)
Ing. Ejec. en Control e Instrumentación Industrial	1	64.664	18	1.163.959	30,33
Técnico electricista	1	36.388	18	654.983	17,07
Mestro gastifer	1	33.942	18	610.964	15,92
Ayudante	2	24.843	18	894.332	23,30
Total				3.324.238	86,61

Fuente: Elaboración propia en base a salario que se recibiría por días trabajados en la implementación

Además, se agregará el costo de la colación (ver tabla 3-8) el cual tendrá un valor de \$7.000 pesos por persona IVA incluido, para las 5 personas del equipo de trabajo, dando un total de \$630.000 pesos por los 18 días que tardará la implementación.

Tabla 3- 8: Colación por días trabajados

Costo de colación por días de trabajo					
	Valor (\$)	Cantidad	N° de días	Total (\$)	Total (UF)
Colación	7.000	5	18	630.000	16,41

Fuente: Elaboración propia en base a valor promedio de un almuerzo

3.1.3 Costo total del proyecto

El costo total del proyecto hace referencia a la suma de los costos de la etapa de diseño más los costos de la etapa de implementación, los costos de la etapa de implementación se realizaron para el caso en el que el agricultor decida llevar a cabo el proyecto. En conjunto ambos costos tienen un valor de 9.280.335 pesos, los cuales llevados al precio de la UF da un total de 241,80UF (ver tabla 3-9).

Tabla 3- 9: Costo total del proyecto

Costos totales de diseño e implementación		
Costos	Valor total (\$)	Valor total (UF)
Costo de materiales de diseño	136.349	3,55
Costos mano obra de diseño HH	493.066	12,85
Costo de materiales de implementación	4.703.395	122,55
Costos mano obra de implementación HH	3.324.238	86,61
Costo de colación	630.000	16,41
9.287.049		241,98
		Total

Fuente: elaboración propia en base a suma de costos

3.2 ANÁLISIS FINANCIERO

En el proyecto, es esencial evaluar tanto la rentabilidad esperada como su viabilidad. Al realizar una inversión inicial de capital, se busca generar beneficios sostenibles a lo largo del tiempo y garantizar la recuperación de la inversión.

Los ingresos por venta de papayas (ver Tabla 3-10) se obtuvieron del boletín INIA NR39721 donde se indica que el rendimiento de algunos huertos en la región de la Serena y Valparaíso alcanzaron una producción de 38 t/ha. Pero en promedio por de 1 Hectárea de plantación de cultivo de papayas se obtienen 25 toneladas del fruto, por lo que se tomó como referencia el promedio de producción.

Teniendo en cuenta un precio de venta a granel de \$3.990 pesos el kilo, se le aplicó un factor de 0,6 para la venta al por mayor, dando un valor de \$2.394 pesos al por mayor, precio con el cual se hicieron los cálculos.

Tabla 3- 10: Ingreso por venta de papayas

Ingreso por venta de papayas	
Cantidad de terreno en metro cuadrado disponible	10.000
Cantidad de plantaciones en 1 Ha	1.320
Precio del kg al por mayor en pesos	2.394
Cantidad de kilos cosechados por 1 Ha	25.000
INGRESO TOTAL EN PESOS	59.850.000
INGRESO TOTAL EN UF	1559,42

Fuente: Elaboración propia en base a ingreso por venta de papayas

El ingreso total por venta de papayas al año es de \$59.850.000 pesos, que llevados al valor de la UF es de 1559,92 UF. Pero es importante destacar que este ingreso corresponde a cuando no existen problemas que puedan generar pérdidas de la cosecha, como eventos climáticos que puedan afectar la producción.

Entre los principales factores de riesgo climático que pueden comprometer la cosecha se encuentran las lluvias excesivas o fuera de temporada, heladas, nieve, granizo, sequías e incluso incendios forestales. Estos eventos no solo pueden reducir significativamente la calidad y cantidad de la producción, sino que en casos extremos pueden ocasionar la pérdida total de la misma. Por esta razón, resulta fundamental incorporar medidas de gestión del riesgo agrícola tanto preventivas como reactivas, que permitan resguardar la inversión y sostener la viabilidad económica del proyecto.

Con el fin de mitigar el riesgo de perder el 100% de la cosecha, es que se cuenta con la contratación de un seguro agrícola de cultivo anual, el cual establece que, en caso de siniestro, se

indemniza al agricultor por un monto máximo equivalente a dos tercios (66,6%) de la producción declarada en el contrato de la póliza. Este seguro agrícola actúa como un respaldo fundamental ante eventos climáticos destructivos, ya que, sin la existencia de este seguro, cualquier fenómeno adverso podría resultar en la pérdida del 100% de la cosecha y, por ende, del ingreso anual del agricultor (Ver tabla 3- 11).

No obstante, si bien el seguro agrícola representa una medida reactiva de protección ante siniestros, es igualmente relevante implementar estrategias preventivas que reduzcan la probabilidad de ocurrencia de daños. En este contexto, es donde este proyecto incorpora un sistema de control de heladas automatizado para no tener que recurrir a este seguro en caso de este evento climático.

Gracias a la implementación de este sistema de control, en caso de producirse una helada, el cultivo será protegido en un 100% y no sufrirá daños significativos, lo que implica que el seguro agrícola no se activará, dado que no habrá pérdidas que justifiquen una indemnización y también evitará aumentos futuros de la póliza.

Tabla 3- 11:Resumen de beneficios en cada caso

Resumen de beneficios según cada caso					
Casos \ Medidas	Sin medidas	Seguro contratado	Control de heladas	Gana % cosecha	Pierde % cosecha
No hay heladas	☑	⊗	⊗	100%	-
	⊗	☑	⊗	100%	-
	⊗	⊗	☑	100%	-
Hay heladas	☑	⊗	⊗	-	100%
	⊗	☑	⊗	66,6%	33,3%
	⊗	⊗	☑	100%	-

Fuente: Elaboración propia en base a ganancia y pérdidas por las heladas

Para efectos del análisis económico del flujo de caja proyectado que se desarrollará posteriormente, se ha definido que el beneficio atribuible al sistema automatizado de control de heladas equivale a un tercio (33,3%) del ingreso total de la cosecha, es decir, a **\$19.950.000**, que llevados al valor de la UF para poder trabajarlos en el flujo de caja es de **520 UF**. Esta estimación se fundamenta en la situación en que, si no existiera un sistema de control de heladas automatizado, el seguro agrícola se encargaría de cubrir una prima correspondiente a dos tercios (66,6%) del ingreso total de la cosecha, considerando que el tercio (33,3%) restante debería asumirse como pérdida.

En consecuencia, este valor de \$19.950.000 será incorporado en el flujo de caja como el ingreso o beneficio esperado del proyecto, ya que vendría a cubrir ese 33,3% de pérdida no cubierto por la póliza, reflejando el beneficio económico derivado de la implementación del

sistema de control de heladas, al evitar la pérdida de la parte no cubierta por el seguro y al asegurar una mayor estabilidad en los ingresos anuales del productor agrícola.

3.2.1 Indicadores financieros

Dos indicadores clave para analizar la viabilidad de un proyecto son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). Ambos conceptos se basan en la proyección de los flujos de caja de la empresa, es decir, los ingresos netos menos los gastos generados durante su operación.

Para poder obtener los valores del VAN es necesario calcular el valor de TMAR (tasa mínima aceptable de retorno) (ver Tablas 3-12), lo cual se realizó de la siguiente manera:

$$TMAR = (\text{inflacion anual} + \text{tasa de interes}) + (\text{inflacion anual} * \text{tasa de interes})$$

Tabla 3- 12: Valor IPC, tasa y TMAR

Inflación anual en Chile	4,70%	f
Tasa de interes (Banco Centra de Chile)	5,57%	i
TMAR	10,53%	

Fuente: Elaboración propia en base a IPC y tasa de interes

El Valor Actual Neto (VAN): es un indicador financiero que se utiliza para evaluar la rentabilidad de un proyecto o inversión. El VAN mide la diferencia entre el valor actual de los flujos de caja generados por la inversión y el monto inicial de la inversión, teniendo en cuenta una tasa de descuento que representa el costo de oportunidad del capital.

Su fórmula es la siguiente:

$$VAN = \sum_{k=0}^t \frac{\text{Flujo de caja neto del periodo } t}{(1+TMAR)^t} - \text{Inversión inicial}$$

Donde;

t: es el periodo

Interpretación del VAN:

- VAN positivo: El proyecto es rentable, ya que genera un retorno mayor que el costo del capital.
- VAN igual a cero: El proyecto genera el retorno justo para cubrir el costo del capital, sin generar ganancias adicionales.

- VAN negativo: El proyecto no es rentable, ya que no genera un retorno suficiente para cubrir el costo del capital invertido.

El VAN es un indicador de riqueza, esto quiere decir que mientras mas alto sea, mejor es desde un punto de vista económico.

La Tasa Interna de Retorno (TIR): es una medida financiera que te indica el rendimiento que obtendrías de una inversión. Es decir, es la tasa de descuento que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero.

Interpretación de la TIR:

- TIR mayor a TMAR: Significa que la inversión es rentable, ya que el rendimiento de la inversión es superior al costo de oportunidad del dinero.
- TIR menor a TMAR: Significa que la inversión no es rentable, ya que el rendimiento de la inversión es inferior al costo de oportunidad del dinero.
- TIR igual a TMAR: Significa que la inversión es neutral, ya que el rendimiento de la inversión es igual al costo de oportunidad del dinero.

El índice de valor actual neto (IVAN): es un indicador financiero que muestra la relación entre el valor actual neto (VAN) y la inversión inicial. Se calcula con la fórmula

$$IVAN = \frac{VAN}{Inversión\ Inicial}$$

Interpretación del IVAN:

- Si el IVAN es menor a uno, el proyecto debe ser descartado.

3.2.2 Flujo de caja proyectado

Para la ejecución del proyecto se contempló la simulación de un financiamiento a través de un crédito comercial el cual cubre el 90% de la inversión inicial, correspondiente a todos los costos de diseño e implementación.

Al financiar el proyecto mediante un crédito es muy importante analizar el comportamiento de los intereses y la amortización a lo largo del periodo del crédito. De esta manera se planifica adecuadamente el flujo de caja proyectado del proyecto, ya que el pago de este crédito representa un egreso constante el cual debe ser considerado en las proyecciones financieras. Para ver las características del crédito ver Tabla 3- 13.

Tabla 3- 13: Tabla de Amortización de crédito

Tabla de amortizacion de credito 90% de financiamiento en UF				
Monto dinero solicitado	218			
Numero de periodos	4			
Interes anual	25,05%			
Credito solicitado en Banco Estado a una tasa de interes mensual del 1,88% y un plazo de 4 años				
N° de periodos	Saldo deuda credito	Intereses	Amortización	Cuota
1	180	55	38	92
2	133	45	47	92
3	74	33	59	92
4	0	18	74	92

Fuente: Elaboración propia en base a tasa de créditos simulado

A continuación, en la Tabla 3-14, se detalla las entradas y salidas de dinero esperadas a lo largo de un periodo de 4 años, permitiendo analizar la generación de valor y la recuperación de la inversión.

Tabla 3- 14: Flujo de caja del proyecto

	Flujo de Caja en UF					
	AÑO	0	1	2	3	4
	BENEFICIOS ESPERADOS					
+	Control de heladas	0	520	544	570	597
	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN					
-	HH diseño	-13	0	0	0	0
-	Materiales de diseño	-4	0	0	0	0
-	HH implementación	-87	0	0	0	0
-	Materiales Implementación	-123	0	0	0	0
-	Colación	-16	0	0	0	0
-	Mantenimiento y reparaciones	0	-13	-14	-14	-15
=	Total costos de implementación	-242	-13	-14	-14	-15
=	MARGEN BRUTO		520	544	570	597
-	Interes LP	0	-55	-45	-33	-18
=	UTILIDADES ANTES DE IMPUESTO		465	499	537	578
-	Impuesto % (25%)	0	-116	-125	-134	-145
=	Utilidades des. Impto.	0	349	374	402	434
-	Amortización LP	0	-38	-47	-59	-74
=	TOTAL ANUAL	-242	-13	-14	-14	-15
+	Préstamo LP	218	0	0	0	0
=	FLUJO DE CAJA NETO	-24	298	314	329	345
	Flujo de caja corregido	-24	270	257	244	231
	Flujo de caja acumulado	-24	246	502	746	977

Fuente: Elaboración propia en base a flujo de caja

A continuación, en la Tabla 3-15, se muestra un cuadro resumen obtenido de los indicadores del flujo de caja.

Tabla 3- 15: Resultados de flujo de caja

TMAR	10,53%
VAN	977
TIR	1237%
PYBACK	Año 1
IVAN	40,3719

Fuente: Elaboración propia en base a resultados extraídos del flujo de caja

Se puede concluir que el periodo de recuperación de la inversión (Payback) es notablemente rápido, ya que la inversión inicial se recupera en el año uno. Este resultado representa una ventaja significativa desde el punto de vista financiero, pues reduce considerablemente el nivel de riesgo asociado al proyecto. Al recuperar el capital en un tiempo tan corto, se minimiza la exposición a factores externos que podrían afectar la viabilidad económica, como cambios en el mercado, fluctuaciones en los costos o ingresos, e imprevistos operativos.

Con base en el análisis económico realizado, se concluye que el IVAN es mayor a 1, por lo cual no está la posibilidad de descartar el proyecto.

Por otro lado, el Valor Actual Neto (VAN) obtenido es mayor a cero, lo que indica que el proyecto generará beneficios netos superiores a la inversión inicial, una vez descontados los flujos de caja futuros a una tasa de interés específica. Esto significa que no solo se recuperará el capital invertido, sino que también se obtendrá una ganancia adicional, lo cual confirma que la inversión es económicamente viable.

Este resultado refleja que el proyecto es rentable, ya que un VAN positivo asegura que los ingresos proyectados son suficientes para cubrir los costos operativos, financieros y el retorno esperado del capital. Es importante destacar que este indicador proporciona una base sólida para la toma de decisiones, pues considera el valor del dinero en el tiempo.

La TIR (Tasa Interna de Retorno) obtenida, equivalente al 1237%, es excepcionalmente alta y destaca como un indicador sólido de la rentabilidad del proyecto. Este resultado implica que la inversión generará un porcentaje de beneficio significativamente superior al costo de oportunidad del capital invertido en el proyecto.

3.3 EVALUACIÓN DE OBJETIVOS

Se ha logrado cumplir satisfactoriamente el objetivo general de diseñar un prototipo de un sistema de control y monitoreo de heladas para una plantación de cultivo de papayas. Ya que el sistema diseñado permite mitigar los efectos de las heladas mediante el monitoreo en tiempo real de las condiciones climáticas, activando de manera automática el control de riego cuando la temperatura desciende a niveles críticos.

Asimismo, se han logrado los objetivos específicos, ya que se implementaron sensores y un módulo de comunicación LoRa para la recolección y transmisión de datos, permitiendo monitorear en tiempo real las variaciones de temperatura y la humedad del suelo.

Los ESP32 y los módulos LoRa SX1278 fueron programados para garantizar la transmisión confiable de datos en un entorno rural, superando las limitaciones de distancia y obstáculos físicos.

Además, se realizaron pruebas de tiempo de respuesta del sistema, asegurando la activación de los relés que controlan la válvula de riego y la bomba de agua.

Los datos recopilados fueron representados gráficamente mediante el software en la nube de Arduino, lo que facilita el análisis de tendencias de temperatura y la toma de decisiones informadas.

El cumplimiento de estos objetivos específicos asegura que el sistema es funcional, confiable y útil para enfrentar el desafío de las heladas en la plantación de papayas, contribuyendo a mejorar la productividad y eficiencia en el manejo del cultivo.

CONCLUSIONES

El sistema de control y monitoreo de heladas desarrollado en este proyecto constituye una solución efectiva para enfrentar este desafío. Al incorporar sensores de temperatura y módulos de comunicación LoRa, se logra supervisar en tiempo real las condiciones climáticas de una plantación, permitiendo detectar rápidamente cuando la temperatura desciende a niveles peligrosos. Este sistema no solo ofrece la posibilidad de reaccionar a tiempo de manera automática, sino que también le entrega más libertad al agricultor, reduciendo la necesidad de vigilancia constante y dejando de lado las arduas tareas de levantarse a altas horas de la noche, como era comúnmente necesario para encender las fogatas. Además, la capacidad de realizar accionamiento remoto en la operación del sistema, como la activación remota de la bomba de riego, la cual proporciona una ventaja adicional al no tener que estar presente en la parcela para poder realizar el riego.

Asimismo, la capacidad de graficar los datos de medición de temperatura proporciona un análisis visual claro sobre las tendencias climáticas, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas a largo plazo. Esta visualización de datos es esencial para la planificación de futuras acciones y la implementación de mejores prácticas que contribuyan a la protección del cultivo contra las heladas.

En conclusión, la implementación de un sistema de monitoreo y control de heladas en el cultivo de papaya representa un avance significativo en el manejo eficiente de los recursos agrícolas. Este enfoque no solo mejora la productividad y rentabilidad de la plantación, sino que también proporciona una solución más sostenible y menos dependiente de métodos tradicionales. Al integrar tecnología avanzada en las prácticas agrícolas, los agricultores pueden hacer frente a los desafíos del clima de manera más eficaz, protegiendo sus cultivos y asegurando una buena calidad de sus productos.

BIBLIOGRAFÍA

Melica Muñoz S (1989). Nomenclatura del papayo cultivado en Chile. *Agricultura técnica*. vol 48 N°(1).

Martinez C Juan Pablo, Otarola A Jaime y Carrasco J Jorge (2024). Las Heladas y su impacto en la agricultura (parte 1). *INIA Rayentué*. informativoN°89.

Kuncar Oneto Daniela (agosto 1994). Investigación, producción y Procesamiento de la papaya en Cobquecura, VIII región, Concepción.

Salvatierra G Angelica. Y Jana A Constanza (2014). Situación actual del cultivo de papayas en las principales zonas de producción, *INIA Intihuasi*. N°107.

Salvatierra Angelica (año 2021). Consideraciones en la plantación de papayos. Serie documental. *INIA Intihuasi*. publicación N°133. YouTube.

Bravo H, Quintana Rodrigo, Reyes Juan, Marisol (año 2020). Heladas Factores Tendencias y efectos en frutales y vides. *Boletín INA*. publicación N°417.

Salvatierra G Angelica (2023). Estado del arte de la investigación aplicada en papayos, *Vasconcellea pubescens*. *INIA Intihuasi*. publicación N°50.

P Ricardo (2016), Heladas tipos medidas de prevención y manejos posteriores al daño Adonis. *INIA Intihuasi*. FIA PYT 2015 (0305)

Agricolahc

<https://www.agricolahc.cl/papaya.php> [visitado: Diciembre 2024]

Sii (servicio de impuestos internos)

https://www.sii.cl/valores_y_fechas/utm/utm2024.htm [visitado: Enero 2025]

Banco Estado (cotización de crédito)

<https://www.bancoestado.cl/> [visitado: Enero 2025]

Banco Central de Chile

https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_TASA_INTERES/MN_TASA_INTERES_09/TMS_15/T311?cbFechaDiaria=2024&cbFrecuencia=MONTHLY&cbCalculo=NONE&cbFechaBase=

[visitado: Enero 2025]

Forum Arduino

<https://arduino.cl/tutorial-de-multitarea-de-arduino-como-usar-millis-en-el-codigo-de-arduino/>

[visitado: Diciembre 2024]

Semtech

https://www.semtech.com/search?crawler_semtech%5Bquery%5D=sx1278

[visitado: Diciembre 2025]

Electronic Clinic

<https://www.electronicclinic.com/lora-sx1278-arduino-hello-world-sensor-monitoring-projects/>

[visitado: Diciembre 2025]