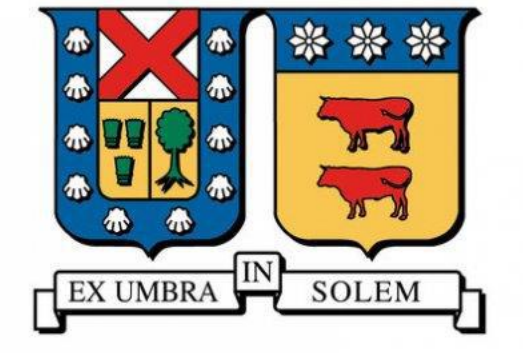


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE PROTECCIÓN CONTRA HELADAS MEDIANTE HÉLICES ANTIHELADAS EN PLANTACIONES AGRÍCOLAS.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR

CLAUDIA ALEXANDRA CASTRO PINO

PROFESOR GUÍA: GONZALO DAVID AMÉSTICA HERNÁNDEZ

PROFESOR COOREFETENTE: MARÍA PILAR GARATE CHATEAU

SANTIAGO DE CHILE, 30 DE OCTUBRE, 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☑ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE PROTECCIÓN CONTRA HELADAS MEDIANTE HÉLICES ANTIHELADAS EN PLANTACIONES AGRÍCOLAS.

Nombre del candidato(a): Claudia Alexandra Castro Pino

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Industrial

Campus: Vitacura **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Gonzalo Améstica Hernández, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☑ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

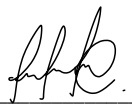
Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 30-10-2026 **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30-10-2026 **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

1. Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mis padres, Alejandra y Francisco, a mi hermano Francisco y mi cuñada Javiera por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional durante todos estos años de universidad. Gracias por confiar siempre en mí, por acompañarme en cada etapa de este camino y por entregarme las herramientas necesarias para alcanzar esta meta. Este logro también es de ustedes.

A mis tíos, Ana y Sergio, por abrirme las puertas de su hogar durante todos estos años, por hacerme sentir parte de su familia, ser mis segundos padres y por brindarme siempre su cariño y apoyo incondicional. En especial, a mi tío Sergio, por cada madrugada en la que se levantó para acercarme a la universidad o a la micro, gestos que quizás parecían pequeños, pero que significaron muchísimo para mí y que llevaré siempre en mi corazón.

A mis amigos Sebastián, Alexandra y Valeria, por estar a mi lado desde el primer día en que nos conocimos, por su amistad sincera y por acompañarme incondicionalmente durante toda esta etapa. Gracias por apoyarme en cada desafío, por compartir tantas alegrías y, sobre todo, por estar presentes en los momentos más difíciles, cuando su compañía y palabras de aliento hicieron que el camino fuera mucho más llevadero. Sin duda, hicieron de esta experiencia universitaria algo mucho más especial.

Finalmente, gracias a cada uno de ustedes por ser parte de esta etapa tan importante de mi vida. Este logro representa no solo años de esfuerzo y dedicación, sino también el cariño, la compañía y el apoyo de quienes estuvieron conmigo durante todo el proceso. Esta meta también les pertenece

2. Resumen Ejecutivo

Las heladas constituyen uno de los principales riesgos climáticos para la producción agrícola, especialmente en cultivos frutales sensibles como los naranjos. Este estudio evalúa la prefactibilidad técnica, económica y ambiental de implementar un sistema automatizado de protección contra heladas mediante hélices antiheladas en una plantación de naranjos de aproximadamente 6 hectáreas, ubicada en el sector de Pataguas Orillas, comuna de Pichidegua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. La investigación surge de la necesidad de reducir el riesgo de pérdidas productivas y económicas ocasionadas por eventos de bajas temperaturas, considerando que las medidas de protección actualmente utilizadas presentan limitaciones frente a heladas de mayor intensidad.

El problema abordado corresponde a las pérdidas productivas y económicas que pueden generar los eventos de helada en el predio. Según los antecedentes entregados por el propietario, en eventos de heladas extremas se han registrado pérdidas que pueden alcanzar aproximadamente el 40% del rendimiento productivo. Los registros meteorológicos utilizados, correspondientes a la estación de Las Cabras-Rapel para el período 2015-2026, muestran 195 eventos de helada en la zona, con una concentración de los eventos más relevantes entre mayo y agosto, y temperaturas mínimas que en algunos casos alcanzaron hasta -5 °C.

La metodología correspondió a un estudio descriptivo, aplicado y de enfoque cuantitativo, estructurado como evaluación de prefactibilidad. Se analizaron las condiciones climáticas y topográficas del predio, se compararon alternativas de hélices antiheladas, se simuló su cobertura efectiva sobre la plantación y se construyó un flujo de caja a 10 años. La evaluación económica incorporó la inversión inicial, costos de operación y mantenimiento,

beneficios por pérdidas productivas evitadas, depreciación, impuestos y una tasa de descuento real de 10% anual.

Desde el punto de vista técnico, se evaluaron los modelos Tow and Blow 250 H y 650 H. Las simulaciones realizadas en Google Earth mostraron que una sola hélice 650 H, pese a tener una cobertura nominal cercana a las 6 hectáreas, no logra proteger satisfactoriamente la totalidad del huerto debido a la geometría irregular del terreno y a la distribución de los naranjos, dejando entre 2 y 3 hectáreas sin cobertura en las ubicaciones analizadas. En cambio, la instalación de dos hélices 250 H operando a 360° alcanzó una cobertura efectiva de 99,33%, con aproximadamente 400 m² sin protección, equivalente al 0,67% de la superficie productiva. Por esta razón, se seleccionó como alternativa principal la adquisición de dos unidades Tow and Blow 250 H,

El sistema propuesto considera un encendido automático cuando la temperatura alcanza 1 °C y un apagado cuando esta supera de manera estable 2,5 °C. Esta configuración busca activar la protección antes de que el cultivo alcance temperaturas críticas y mantener la operación hasta que disminuya el riesgo de daño por helada.

En términos económicos, la inversión inicial estimada asciende a $88.679.410 CLP, correspondiente a la adquisición de dos hélices 250 H y su transporte al predio. Para un horizonte de evaluación de 10 años, el proyecto presenta un Valor Actual Neto de $41.785.712, una Tasa Interna de Retorno de 20,79%, un período de recuperación simple de 3,89 años y un período de recuperación descontado de 5,27 años. Asimismo, el índice de rentabilidad alcanza 1,47, lo que indica que cada peso invertido genera aproximadamente $1,47 en flujos netos a valor presente. Estos resultados respaldan la conveniencia económica de la alternativa en el escenario base. Sin embargo, el análisis de sensibilidad demuestra que

la rentabilidad depende de la eficiencia de protección, las pérdidas productivas que se logren evitar y la evolución de los costos.

Desde la perspectiva ambiental, la evaluación se centró en la emisión de ruido durante la operación nocturna de los equipos, dado que las heladas suelen ocurrir en la madrugada. Los antecedentes técnicos considerados indican que los niveles de ruido proyectados cumplen con los límites establecidos en el Decreto Supremo N° 38 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente para las distancias evaluadas.

En consecuencia, se concluye que la implementación de dos hélices antiheladas Tow and Blow 250 H en configuración de 360° presenta prefactibilidad técnica, económica y ambiental para la plantación de naranjos estudiada. La alternativa permite alcanzar una cobertura efectiva cercana al 100% del huerto, presenta indicadores financieros favorables en el caso base y no evidencia restricciones ambientales relevantes bajo los supuestos considerados.

3. Índice de contenidos

1. Agradecimientos 2

2. Resumen Ejecutivo 3

3. Índice de contenidos 6

4. Índice de Figuras 9

5. Índice de tablas 12

6. Problema de investigación 14

7. Objetivos 18

7.1. Objetivo general 18

7.2. Objetivos Específicos 18

8. Marco teórico 20

8.1. Heladas agrícolas 20

8.1.1. Concepto de helada 20

8.1.2. **Tipos de heladas** 21

8.1.3. Factores que influyen sobre la intensidad de una helada 23

8.1.4. Efectos de las heladas sobre los cultivos agrícolas 25

8.2. Ondas Polares 26

8.3. Experiencias internacionales en protección contra heladas 26

8.3.1. Estados Unidos 28

8.3.2. Nueva Zelanda 29

8.3.3. Australia 30

8.3.4. Argentina 30

8.4. Métodos de protección 31

8.4.1. Métodos Pasivos o Indirectos 31

8.4.2. Métodos Activos 40

8.5. Evaluación de proyectos 51

8.5.1. Concepto de Proyecto 51

8.5.2. Proyecto de Inversión 51

8.5.3. Etapas de un Proyecto 51

8.5.4. Tipos de evaluación 54

9. Desarrollo 55

9.1. Metodología del Proyecto 55

9.1.1. Tipo de estudio 56

9.1.2. Alcance y limitaciones 56

9.1.3. Etapa de análisis 58

9.1.4. Fuentes de información 59

9.2. Evaluación técnica 60

9.2.1. Localización del proyecto 60

9.2.2. Análisis de las condiciones de helada 64

9.2.3. Selección de tecnología 69

9.2.4. Distribución de las hélices 79

9.3. Evaluación Económica 88

9.3.1. Inversión Inicial 89

9.3.2. Costos de operación y mantenimiento 89

9.3.3. Ingresos 90

9.3.4. Flujo de caja 98

9.3.5. Indicadores de rentabilidad 104

9.3.6. Análisis de sensibilidad 116

9.4. Evaluación Ambiental 131

9.5. Análisis y discusión de resultados 141

9.5.1. Resultados técnicos 141

9.5.2. Resultados económicos 143

9.5.3. Resultados ambientales 146

9.5.4. Discusión integrada de resultados 147

10. Conclusiones 151

11. Referencias 155

12. Anexo 161

4. Índice de Figuras

Figura 1: Temperaturas críticas para diferentes especies de frutas (°C) 21

Figura 2: Ilustración de una Helada Radiativa 22

Figura 3: Ilustración de una Helada Advectiva 22

Figura 4: Comportamiento heladas en distintos paíeses..... 27

Figura 5: Ilustración demostrativa del que el aire frío drena hacia abajo por la ladera y se establece en las zonas más bajas, donde hay más probabilidad de daño por helada..... 34

Figura 6: Ilustración demostrativa del bloqueo del aire frio mediante cerca solida construida alrededor de un campo de frutales. 34

Figura 7: Ilustración de método uso de barreras al movimiento del aire 35

Figura 8: Ilustración de método uso de cubiertas sobre las plantaciones..... 39

Figura 9: Hélice para control de heladas Tow and Blow, modelo diésel TBD 650 H 48

Figura 10: Ventilador de control de heladas Modelo C49 (4 aspas) 49

Figura 11: Etapas de un proyecto. 52

Figura 12: Terreno agrícola de plantación de naranjos. 60

Figura 13: Esquema alcance nominal de las Hélices control heladas Tow & Blow 73

Figura 14: Componentes de una TBD 650H 76

Figura 15: Modelo 650H, ubicación latitud -34.2853095, longitud -71.3627393, altitud 121.5245604 79

Figura 16:Modelo 650H, ubicación latitud -34.2856533, longitud -71.3630645, altitud 122.1430599 80

Figura 17: Modelo 650H, ubicación latitud -34.2861955, longitud -71.3629922, altitud 123.2231129 81

Figura 18: Modelo 650 h a 180° ubicación latitud -34.2877345, longitud -71.3622499 82

Figura 19: Modelo 650 h a 180° ubicación latitud -34.2847903, longitud -71.3632671 83

Figura 20: Modelo 250 H, ubicación de dos hélices a 360° 84

Figura 21: Modelo 250 H, ubicación de dos hélices a 180° 85

Figura 22: Proyección de beneficios generados y precio de venta 96

Figura 24: NPSeq Proyectado a diferentes distancias con la Hélice portátil a diferentes alturas en metros. 133

Figura 25: Tabla NPSeq proyectados hacia distintas distancias, en dB(A) realizado por Zimex (2018) 134

Figura 26: Mapa de Ruido del NPSeq Proyectado a Diferentes Distancias con la Hélice Portátil. Funcionado a 1 metro de altura. 135

Figura 27: Mapa de Ruido del NPSeq Proyectado a Diferentes Distancias con la Hélice Portátil. Funcionado a 2 metro de altura. 136

Figura 28: Mapa de Ruido del NPSeq Proyectado a Diferentes Distancias con la Hélice Portátil. Funcionado a 3 metro de altura. 137

Figura 29: Mapa de Ruido del NPSeq Proyectado a Diferentes Distancias con la Hélice Portátil. Funcionado a 7 metro de altura. 138

Figura 30: Niveles Proyectados dB(A), Horario Nocturno, con su Respectiva Distancia Mínima, a 1 Metro de altura 139

Figura 31:Niveles Proyectados dB(A), Horario Nocturno, con su Respectiva Distancia Mínima, a 2 Metros de altura 139

Figura 32: Niveles Proyectados dB(A), Horario Nocturno, con su Respectiva Distancia Mínima, a 3 Metros de altura 140

Figura 33: Niveles Proyectados dB(A), Horario Nocturno, con su Respectiva Distancia Mínima, a 7 Metros de altura 140

Figura 34: Cotización equipos 169

5. Índice de tablas

Tabla 1: Comparativa de Variedades de Naranja 63

Tabla 2: Registro promedio de heladas periodo 2015-2026 65

Tabla 3: Eventos de helada mensual registrados en el periodo 2015-2026 65

Tabla 4: Comparativa modelos hélices portátil 70

Tabla 5: Alcance nominal de las Hélices control heladas Tow & Blow 72

Tabla 6: Valores equipos TBD 74

Tabla 7: Tabla comparativa simulación Hélices. 86

Tabla 8: Parámetros de funcionamiento Hélice 250 H. 88

Tabla 9: Estimación de ingreso horizonte temporal 10 años 95

Tabla 10: Comparación de beneficios generados 97

Tabla 11: Parámetros utilizados en el flujo de caja 99

Tabla 12: Extracto de flujo de caja, año 0 al 5. 103

Tabla 13: Extracto de flujo de caja, año 6 al 10. 103

Tabla 14: Criterios de decisión Valor Actual Neto 106

Tabla 15: Criterios de interpretación de la Tasa Interna de Retorno 108

Tabla 16: Extracto evolución del flujo acumulado 109

Tabla 17: Extracto evolución flujo descontado acumulado 110

Tabla 18:Comparación período de recuperación de la inversión 111

Tabla 19: Criterios de decisión índice de rentabilidad 113

Tabla 20: Indicadores de rentabilidad 114

Tabla 21: Variables consideradas en el análisis de sensibilidad 116

Tabla 22: Ingreso para distintas escalas de daño 117

Tabla 23: Conciliación de indicadores rentabilidad caso daño 30% 117

Tabla 24: Conciliación de indicadores rentabilidad caso daño 50% 118

Tabla 25: Conciliación de indicadores rentabilidad caso daño 15% 119

Tabla 26: Ingreso para distintas escalas de eficiencia 121

Tabla 27: Indicadores de rentabilidad para distintas escalas de eficiencia técnica 121

Tabla 28: Escenarios de Costos 124

Tabla 29: Indicadores económicos con sensibilidad de costos..... 124

Tabla 30: Escenarios conjuntos 127

Tabla 31: Resultados indicadores económicos escenario conjunto 127

Tabla 32: Síntesis Comparativa 129

Tabla 33: Límite máximo de ruido permitido 132

Tabla 34: Principales resultados caso base 143

Anexo 1. Tabla 35: Registro de Heladas periodo 2015-20269..... 161

Anexo2. Tabla 36: Mínima absoluta mensual periodo 2020-2025 168

6. Problema de investigación

La agricultura constituye una de las actividades económicas más importantes a nivel mundial, debido a su contribución a la seguridad alimentaria, la generación de empleo y el desarrollo económico de numerosos países.

"El PIB de la agricultura en Chile aumentó a 2628,84 mil millones de CLP en el primer trimestre de 2026 desde 2180,79 mil millones de CLP en el cuarto trimestre de 2025. El PIB de la agricultura en Chile promedió 1211,61 mil millones de CLP desde 1996 hasta 2026, alcanzando un máximo histórico de 2891,15 mil millones de CLP en el primer trimestre de 2016 y un mínimo récord de 310,37 mil millones de CLP en el tercer trimestre de 1996" (Trading Economics)

De acuerdo con Cuevas (2022) el sector agropecuario representa el 6,9% de los empleos en chile, basándose en los resultados preliminares del Censo Nacional Agropecuario y Forestal (CAF) durante el 2021 las exportaciones registradas en el sector agrícola aumentaron a un 9,2% lo que representa envíos internacionales por US$17.369 millones.

De acuerdo con las Cuentas Nacionales Anuales (CNA) publicadas en marzo 2024, la actividad agropecuario-silvícola -que incluye la agricultura, fruticultura, ganadería y silvicultura- representó un 3,0% del PIB durante el 2023. En donde la fruticultura representa un 37% de la composición del sector agropecuario-silvícola. (Banco Central de Chile, 2025)

Sin embargo, esta actividad depende en gran medida de las condiciones climáticas, por lo que se encuentra expuesta a diversos fenómenos meteorológicos que pueden afectar significativamente la productividad, la calidad y rentabilidad de los cultivos. Entre estos fenómenos, las heladas representan una de las amenazas más relevantes para la producción agrícola, especialmente en cultivos frutales de alto valor comercial. La variabilidad climática

y la ocurrencia de eventos extremos han incrementado la necesidad de implementar estrategias que permitan reducir la vulnerabilidad del sector agrícola frente a este tipo de riesgos.

En Chile, la agricultura desempeña un rol fundamental tanto en la economía nacional como en las exportaciones agroalimentarias. No obstante, las condiciones climáticas del país, caracterizadas por una alta diversidad geográfica y la presencia de zonas con marcada amplitud térmica, favorecen la ocurrencia de heladas durante distintas épocas del año.

El servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) define una helada como el descenso de la temperatura del aire superficial por debajo del punto de congelación, que, dependiendo de la humedad del aire, la intensidad del viento y la condición del terreno puede formar hielo, escarcha o depósitos de humedad congelada y producir daños en la vegetación. (SENAPRED, 2025)

Las heladas constituyen uno de los principales riesgos climáticos para la producción agrícola, especialmente en cultivos frutales sensibles como los cítricos. Las bajas temperaturas pueden provocar daños fisiológicos en flores, frutos y tejidos vegetales, afectando tanto el rendimiento como la calidad comercial de la producción provocando pérdidas económicas asociadas a la disminución del rendimiento, deterioro de la calidad del producto y aumento de costos operacionales para los productores. El nivel del daño que sufra el cultivo dependerá de una variedad de factores, entre ellos se encuentras la vulnerabilidad de la especie, intensidad de la helada, tiempo de exposición y ubicación geográfica del cultivo. De hecho, Chile cuenta con seguros agrícolas subsidiados por el estado, que incluyen las heladas entre los riesgos cubiertos para diferentes cultivos y especies, esto logra

evidenciar que el fenómeno representa un riesgo económico reconocido dentro de la actividad agrícola nacional.

En este contexto los agricultores han debido implementar diversas estrategias de protección contra heladas, entre ellas sistemas activos como las hélices antiheladas, las cuales permiten reducir el impacto térmico mediante la circulación y mezcla de masas de aire. Sin embargo, la incorporación de este tipo de tecnología implica una elevada inversión inicial, además de costos asociados a instalación, operación, mantenimiento y consumo energético.

> Julio de 2025 fue uno de los meses más dañinos para la agricultura de Chile debido a eventos climáticos extremos como lluvias o heladas. Los siniestros agrícolas por causas climáticas aumentaron un 8% con respecto al mismo mes de 2024 y 15% si se lo compara con las cifras a julio de 2023. Así lo devela el estudio "Siniestros agrícolas por fenómenos climáticos" de la consultora Gallagher Chile difundido por medios especializados en producción agrícola. Según el informe, por siniestros registrados en 2025 requirieron más de $2.800 millones de indemnizaciones. (Fundación Terram. 2025)

En diversas zonas agrícolas las heladas han aumentado cada vez más, es por ello que surge la necesidad de implementar sistemas de protección capaces de minimizar los daños causados por las condiciones climáticas adversas. Se han desarrollado diversas técnicas de protección que pueden clasificar en métodos pasivos y activos, dentro de los métodos activos destacan las hélices o máquinas de viento antiheladas, método que se presenta como una tecnología orientada a disminuir el efecto de las heladas radiativas mediante la circulación y mezcla de masas de aire, aprovechando el fenómeno de inversión térmica.

Sin embargo, la instalación de este tipo de sistemas implica elevados costos de adquisición, instalación, operación y mantenimiento, por lo que su implementación requiere evaluar si realmente constituyen una solución eficiente y rentable para una plantación de naranjas determinada. Asimismo, factores como las condiciones climáticas de la zona, la frecuencia de heladas, la topografía del terreno, el consumo energético y el nivel de protección alcanzado pueden influir directamente en el desempeño técnico y económico del sistema.

En este contexto, surge la necesidad de analizar si la instalación de hélices antiheladas es técnicamente viable y económicamente rentable para reducir las pérdidas ocasionadas por heladas en una plantación agrícola de naranjas, considerando las condiciones específicas del cultivo y del entorno productivo. ¿Es factible técnica y económicamente la instalación de hélices antiheladas como sistema de protección para reducir los daños y pérdidas ocasionadas por eventos de heladas en una plantación de naranjas ubicada en la región de O´Higgins?

7. Objetivos

7.1. Objetivo general

Evaluar la prefactibilidad técnica, económica y ambiental de la instalación de hélices antiheladas en una plantación agrícola de naranjas, para determinar su viabilidad como sistema de protección frente a eventos de heladas y su impacto en la reducción de pérdidas productivas y económicas.

7.2. Objetivos Específicos

Investigar las estrategias y tecnologías de protección contra heladas utilizadas en países con experiencia en la materia, tales como Estados Unidos, Nueva Zelanda y Argentina, para identificar prácticas y criterios de implementación aplicables a la plantación de naranjas objeto de estudio.

Identificar las condiciones climáticas y topográficas de la plantación agrícola de naranjas, para determinar el nivel de riesgo de heladas y las condiciones necesarias para la implementación de hélices antiheladas.

Analizar el funcionamiento y requerimientos técnicos de las hélices antiheladas, para establecer su capacidad de protección y cobertura dentro de la plantación agrícola.

Determinar los costos de inversión, operación y mantenimiento del sistema de hélices antiheladas, para evaluar el impacto económico de su implementación.

Evaluar económicamente la implementación de hélices antiheladas en la plantación agrícola de naranjas, para determinar su rentabilidad mediante indicadores económicos y financieros.

8. Marco teórico

8.1. Heladas agrícolas

8.1.1. Concepto de helada

Martínez, Otárola y Carrasco (2024) señalan que, “desde el punto de vista meteorológico, la helada corresponde al descenso en la temperatura del aire, alcanzando valores iguales o menores a 0 °C, cualquiera sea su intensidad, ocurrencia y duración de ésta,”

Por su lado Oñate (2010) establece que “Teniendo en cuenta el criterio agrometeorológico, y lo que significa daño a cultivos agrícolas, se considera que se produce una helada cuando la temperatura ha disminuido lo suficiente, al punto tal de producir daños en los órganos vegetales”

Mientras que Zimex Smart Agro (2024) indica que “la palabra “helada” se refiere a la formación de cristales de hielo o escarcha sobre las superficies, tanto por congelamiento de la humedad relativa (punto de rocío), como por un cambio de fase del agua de vapor a hielo”.

A partir de los planteamientos anteriores, se propone entender una helada como un fenómeno meteorológico en el cual la temperatura del aire desciende hasta niveles capaces de producir daño en los tejidos vegetales. Generalmente, se considera helada cuando la temperatura ambiente alcanza valores iguales o inferiores a 0 °C, aunque el daño fisiológico puede ocurrir a temperaturas superiores dependiendo del cultivo y su estado fenológico.

La figura 1 (Tadié et al. , 2023, p.8) muestra la temperatura critica para distintos cultivos, el valor critico se encuentran entre los -2 y -4 °C en la mayoría de los cultivos, sin

embargo existen cultivos mas sensibles como lo son los cítricos en donde los daños comienzan desde los -1,4 °C.

Cultivo	Etapas fenológicas	10% de muertes	90% de muertes
Manzanas	Punta plateada	-11,9	-17,6
	Grupo compacto	-3,9	-7,9
	Primera floración	-2,3	-4,7
	Después de la floración	-1,9	-3.0
Albaricoques	La punta separa	−4.3	−14.1
	Primera floración	−4.3	-10.1
	Pleno flor	-2,9	-4,7
	Fruta verde	-2,3	-3,3
peras	Las escalas se separan	-8,6	-17,7
	Primera floración	-3,2	-6,9
	Después de la floración	-2,5	-3,9
Ciruelas pasas	Primera marejada	-11.1	-17,2
	Punta verde	−8.1	-14,8
	Primera floración	−4.3	-6,9
	Después de la floración	-2,7	-4.0
Uva	Primera marejada	-10,6	-19,4
	Brote	-3,9	-8,9
	Primera hoja	-2,8	−6.1
	Cuarta hoja	-2,2	-2,8
Fruta cítrica	Naranjas verdes Limones verdes	-1,4	-1,9

Figura 1: Temperaturas críticas para diferentes especies de frutas (°C)

8.1.2. **Tipos de heladas**

a) Heladas Radiativas: Ocurre en noches despejadas y sin viento. El suelo libera rápidamente el calor acumulado durante el día hacia la atmósfera, enfriando la capa de aire más cercana a la superficie. Este tipo predomina a finales de otoño, durante el invierno y principios de primavera, suele cubrir la superficie del follaje con una capa blanca (hielo). La figura 2 (Adonis, 2016) muestra la helada desde el suelo hasta los 10 metros en donde hay capa de inversión entre los 10 y 24 metros. Con temperaturas sobre 0 ºC.

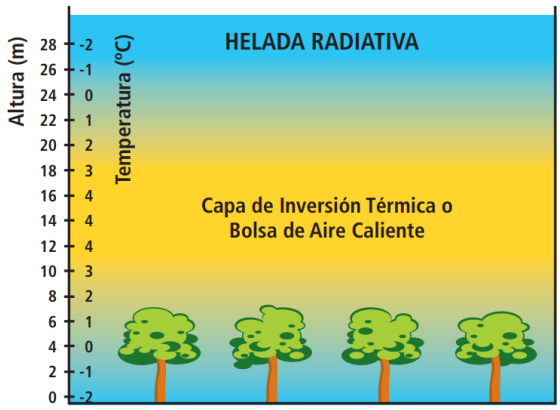


Figura 2: Ilustración de una Helada Radiativa

b) Heladas Advectivas: Es provocada por la invasión de una masa de aire frío. Suele presentarse en cualquier momento del día (incluyendo el día) acompañada de vientos fuertes y afecta zonas geográficas muy extensas. Son más dañinas para las plantaciones debido a que presentan aire más seco y frío. La figura 3 (Adonis, 2016) muestra una típica helada advectiva, aire helado y con temperaturas similares desde el suelo hacia arriba. Temperaturas de -2 ºC hasta -4 ºC.

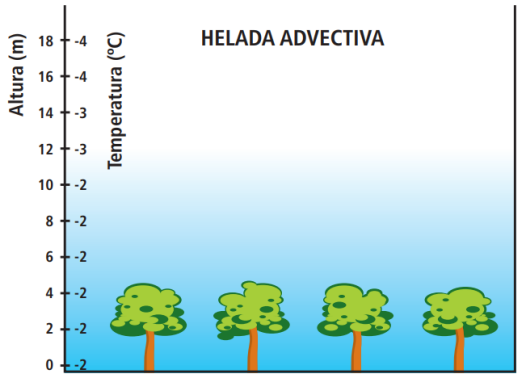


Figura 3: Ilustración de una Helada Advectiva

c) Helada Mixta: Es una combinación entre heladas advectivas (etapa inicial) y radiativas (etapa nocturna), ocurren cuando ocurren cuando una masa de aire polar invade una zona, y durante la noche el cielo se despeja, permitiendo una rápida pérdida de calor del suelo. Combinan el ingreso de aire frío intenso con la pérdida de calor local, siendo una de las amenazas más destructivas para la agricultura.

d) Helada por Evaporación: Se produce cuando el agua líquida de la superficie de las plantas se evapora rápidamente, absorbiendo calor del vegetal y provocando que su temperatura baje hasta el punto de congelación.

8.1.3. Factores que influyen sobre la intensidad de una helada

Este apartado se basa principalmente en lo planteado por Bravo, R., Muñoz, M. y Quintana, J.(eds.). (2020).

El daño provocado por las heladas depende de diversos factores los cuales se detallarán a continuación.

8.1.3.1. Nubosidad

Las nubes actúan como una barrera que evita las pérdidas de energía. Absorbe la radiación del suelo y vuele a emitir. En consecuencia, reduce las diferencias entre ganancias y pérdidas de energía moderando las variaciones térmicas.

8.1.3.2. Velocidad del viento

El viento contribuye a mezclar las capas de aire igualando las temperaturas de la masa del aire. Mezcla el aire cálido que está a cierta altura con el aire frío a nivel del suelo provocando un calentamiento del aire frío y de esta forma disminuye el riesgo de helada. Por

ello, si no hay viento, hay mayor posibilidad de que se produzca una helada. Las hélices usadas para control de heladas tratan de imitar este efecto.

8.1.3.3. Humedad del aire

Cuando la temperatura disminuye en la noche, y el aire está húmedo puede saturarse. Si el enfriamiento continúa, el agua contenida en el aire precipita la aparición del rocío o hielo frena el enfriamiento del aire por liberación de calor del agua al condensarse (600 cal/gr) en agua o al congelarse (80 cal/gr). Esta energía no es suministrada si el aire está seco y el riesgo de helada es mayor (helada negra). La emisividad del aire aumenta con la humedad atmosférica.

8.1.3.4. Laboreo del suelo y cubierta vegetal

Un suelo trabajado es más poroso que uno no trabajado y su conductividad térmica disminuye. Una vegetación uniforme juega un rol de aislante y se observa una disminución sensible de la temperatura del suelo. La paja, las malezas o el trabajo en el suelo frenan el aporte de calor de las capas profundas del suelo.

8.1.3.5. Pendiente del terreno

La inclinación del terreno es muy importante. La helada será más intensa en el fondo de un valle debido a la acumulación de aire frío (tiene una densidad mayor). Ejemplo: en la cima de una colina, la temperatura puede ser de sólo 1ºC. A medida que se desciende, disminuye hasta -5ºC en el fondo del valle, donde se acumula el aire frío. El aire frío se desliza a lo largo de las pendientes y se acumula en los lugares más bajos.

8.1.3.6. Altura sobre el suelo

En la noche la superficie del suelo se enfría primero, lo que a su vez hace disminuir la temperatura del aire en contacto con él. Así, durante la noche la temperatura aumenta con la altura.

8.1.4. Efectos de las heladas sobre los cultivos agrícolas

Las bajas temperaturas pueden generar diferentes niveles de daño dependiendo de la intensidad y duración del evento, así como de la especie y del estado de desarrollo en que se encuentre, durante la etapa de brotación, floración y cuajado de frutos el cultivo es especialmente más sensible.

8.1.4.1. Efectos Internos

Los efectos internos ocurren principalmente cuando el agua dentro de los tejidos vegetales de congela y daña las estructuras celulares de manera irreversible.

El agua dentro del protoplasma de las células se congela y forma cristales que perforan y destruyen las membranas celulares. Al congelarse el agua fuera de la célula se crea un gradiente de presión osmótica que extrae el agua del interior del protoplasma, secando la célula. La destrucción celular libera enzimas y compuestos tóxicos que aceleran la muerte del tejido (necrosis interna), visible después como un oscurecimiento o "quemazón".

8.1.4.2. Efectos Externos

Los efectos externos de las heladas en los cultivos se manifiestan en daños visibles sobre la estructura física de la planta, variando según la intensidad del frío y el estado de desarrollo del cultivo.

Entre los principales daños se encuentran la muerte de hojas y tallos tiernos, destrucción de un gran porcentaje de flores y frutos pequeños, e incluso la muerte total de la planta. La resistencia del cultivo a la helada depende de la etapa de desarrollo; ya que, es más resistente cuando se encuentra en el periodo de germinación, mientras que en la floración es mayor el daño.

8.1.4.3. Efectos acumulativos

Son el resultado de la exposición prolongada a temperaturas bajas o de heladas recurrentes a lo largo del ciclo fenológico, provocando así el efecto de deshidratación en un tiempo de tres a cuatro días. Comúnmente se manifiesta con la intoxicación de la planta por las sales minerales cuando el fenómeno se repite.

8.2. Ondas Polares

Blass Soluciones IOT-Big Data-IA (2025) expone en su blog que las ondas polares también afectan los cultivos agrícolas. Una onda polar es un evento meteorológico de frio extremo de origen antártico o polar que provoca temperaturas mínimas por varios días seguidos en Chile principalmente en la zona central y sur del país. Este fenómeno favorece la aparición de heladas por advección y vientos que dificultan la formación de microclimas protectores.

8.3. Experiencias internacionales en protección contra heladas

La protección contra heladas en la agricultura ha sido abordada de manera distinta según las condiciones climáticas, productivas y económicas de cada país. En términos generales, las estrategias utilizadas combinan medidas pasivas, como selección del sitio, manejo del suelo, poda y drenaje de aire frío, con métodos activos, como riego por aspersión,

calefactores, ventiladores o hélices antiheladas. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) señala que los métodos de protección contra heladas deben evaluarse no solo por su efectividad técnica, sino también por su costo de inversión, operación y pertinencia según el cultivo y tipo de helada. (Snyder & de Melo-Abreu, 2010)

Los futuros cambios climáticos con calentamiento y escasez de agua provocarán la pérdida de la viticultura en el Mediterráneo y otras regiones, mientras que en Europa Central y Septentrional, el calentamiento podría favorecerla. La figura 4 muestra las observaciones de heladas en diferentes países. (Tadié et al. , 2023, p.8)

País de estudio	Observación de heladas	Observación de brotes/flores	Período de tiempo
Croacia	7 veces en marzo, 3 veces en abril.		1899–2021
	8-9 veces en marzo, 4-5 días en abril.		2008–2023
Estados Unidos, Illinois	Probabilidad de daños por heladas = 0,03		1889–1979
	Probabilidad de daños por heladas = 0,21		1980–2012
Alemania (sur)	Los daños por heladas en los manzanos aumentarán hasta un 10 % en comparación con la actualidad con un calentamiento de 2 °C.		2006–2015
República Checa		El período de floración se adelantó: de 13,9 a 8,1 días.	1924–2012
Europa (1000 ubicaciones)	Períodos de frío frecuentes que coinciden con la brotación/floración.	Temperaturas más altas en invierno y principios de primavera = "falsa primavera"	1950–2013
Estados Unidos, California	La exposición a las heladas disminuyó en un 63%.	Entre un 50 % y un 75 % menos de horas de heladas para almendras, aguacates y naranjas.	hasta 2050
Austria	Los sistemas estables de alta presión están provocando olas de frío en primavera.	La floración se desplazó a principios de abril.—1,6 ± 0,9 días por década.	El final del siglo XXI
hemisferio norte (30° N)	Aproximadamente el 43% del hemisferio (principalmente en Europa) = aumento significativo de días de heladas, principalmente en primavera.	Alargamiento de la temporada de cultivo	1982–2012

Figura 4: Comportamiento heladas en distintos paíeses

En términos de heladas en Chile los principales referentes agrícolas por la similitud de las condiciones climáticas son Estados Unidos, Nueva Zelanda y Argentina.

8.3.1. Estados Unidos

Estados Unidos presenta una amplia experiencia en protección contra heladas, especialmente en zonas citrícolas como California y Florida. En California, el uso de máquinas de viento o hélices antiheladas ha sido una práctica relevante en huertos de cítricos y frutales, debido a la ocurrencia frecuente de heladas radiativas asociadas a inversión térmica.

En California la gran mayoría de plantaciones agrícolas de cítricos están protegidas por máquinas de viento. “Los ventiladores que hacen viento casi horizontalmente se introdujeron como un método para la protección contra las heladas en California durante los años 20. Sin embargo, no fueron ampliamente aceptados hasta los años 40 y los años 50” (Snyder & de Melo-Abreu, 2010, p.171).

California ha experimentado importantes eventos de heladas, entre los que más destacan por el nivel de daño causado son las ocurridas en los años 1990 la cuela provoco perdidas por alrededor de US$500 millones afectando a su vez a 450.000 hectáreas de superficie agrícola y en 1998 la cual dejo perdidas de US$700 millones en donde la principal plantación afectada fue la de cítricos. (Fernández, 2024)

Florida, por su parte, presenta una estrategia distinta debido a sus condiciones climáticas y al tipo de eventos de frío que afectan a los cítricos. En esta zona, el método más utilizado para protección contra bajas temperaturas en cítricos corresponde al riego con microaspersores de bajo volumen.

El riego por microaspersión de bajo volumen es el método más utilizado en la industria citrícola de Florida para proteger los árboles de las heladas. Los primeros intentos en 1962 de utilizar riego por aspersión para la protección contra las heladas provocaron daños generalizados en los árboles debido a la insuficiente cantidad de agua aplicada. Esto hizo que los productores se mostraran reacios a utilizar el riego para la protección contra el frío hasta principios o mediados de la década de 1980. El uso generalizado de microaspersores a principios de la década de 1980 permitió a los productores aplicar suficiente agua directamente debajo y sobre las partes inferiores de los árboles de cítricos, protegiéndolos así de los daños por heladas. (Diepenbrock et al., 2025)

8.3.2. Nueva Zelanda

Las herramientas utilizadas en Nueva Zelanda son las más similares a las utilizadas en Chile, en el país la mayoría de las tecnologías utilizadas en este contexto son de origen neozelandés.

En palabras de M. Trought, profesor de la Lincoln University (NZ) e investigador principal del New Zealand Institute for Plant & Food Research, las máquinas de viento (hélices, ventiladores industriales, etc.) son las herramientas más usadas en Nueva Zelanda. (Fernández, 2024)

Fernández indica que otra herramienta usada por productores neozelandeses son helicópteros en viñedos, esta herramienta presenta un mayor costo a las otras alternativas,

por otro lado también utilizan aspersores sin embargo esta es una solución que conlleva una alta demanda de agua para su implementación. (2024)

8.3.3. Australia

Australia presenta experiencia relevante en protección contra heladas en cítricos, especialmente en regiones interiores productoras como New South Wales y Victoria. El Departamento de Industrias Primarias de New South Wales señala que la mayoría de las heladas en zonas interiores corresponden a heladas radiativas, caracterizadas por noches despejadas, poco viento y enfriamiento más intenso cerca del suelo. Estas condiciones son comparables a las que pueden presentarse en zonas agrícolas chilenas donde se acumula aire frío durante la noche.

8.3.4. Argentina

En Argentina, la protección contra heladas es relevante en zonas agrícolas como Mendoza. En esta región, las heladas suelen ser un factor limitante para la producción, por lo que se han utilizado estrategias como riego por aspersión, riego por inundación, calefactores, manejo del suelo y ventiladores. La FAO identifica a Mendoza como una zona donde se han aplicado métodos como selección de emplazamiento, compactación del suelo en invierno, riego por aspersión, riego por inundación, calefactores y ventiladores u otras máquinas que producen movimiento de aire. (Snyder & de Melo-Abreu, 2010)

Snyder y De Melo-Abreu mediante una encuesta sobre la protección conta las heladas en Buenos Aires se estimó que la principal herramienta utilizada para proteger las plantaciones es la estufa de combustible líquido esto hasta el año 2001 posterior a este, el método principal fueron las estufas a combustible sólido como la leña, se estima un 80% del área protegida por estufas. (2010)

El detalle de los métodos mencionados utilizados se puede encontrar en el apartado Métodos de Protección.

8.4. Métodos de protección

8.4.1. Métodos Pasivos o Indirectos

Son medidas preventivas orientadas a reducir el riesgo de daño antes de la ocurrencia de la helada. Son técnicas que permanecen en los campos por largos periodos de tiempo no solamente en las noches de las heladas. Se relacionan con técnicas biológicas y ecológicas.

El siguiente apartado está basado en el capítulo 2 de Heladas. Tipos, Medidas de Prevención Y Manejos Posteriores al daño (Adonis, 2016) y en el capítulo 6 de Protección contra las heladas: Fundamentos, práctica y economía (Vol. 1) (Snyder, R. L., & de Melo-Abreu, J. P. , 2010).

8.4.1.1. Selección de suelo, especie y variedades

La selección del sitio, la especie y las variedades constituye un aspecto crítico en el establecimiento de plantaciones, aunque no siempre es considerado en la planificación agrícola. En el contexto actual, la elección del sitio ha adquirido renovada relevancia por dos razones principales: (a) el creciente interés por establecer plantaciones en nuevas zonas y (b) la necesidad de adaptarse a las nuevas condiciones de variabilidad climática.

En el caso de nuevas plantaciones, la mejor estrategia de prevención frente a eventos climáticos adversos, como las heladas, es la elección adecuada del sitio. Esto puede lograrse mediante:

- La selección de zonas donde ocurran pocas heladas.

- El análisis de la topografía del lugar, lo cual puede recomendar nivelar las zonas bajas o ubicar la plantación en la parte alta de los valles.
- La consideración de que el aire más frío, al ser más denso, tiende a depositarse en las zonas bajas de los valles y predios.

Adicionalmente, es posible que, incluso sin diferencias topográficas evidentes, ciertos sectores se vean afectados con mayor frecuencia por heladas. Esto puede deberse a suelos con distintas características de conducción y capacidad de almacenamiento de calor. Por lo tanto, al planificar las plantaciones, es recomendable consultar con especialistas para evaluar si las condiciones topográficas y de suelo podrían favorecer la ocurrencia de heladas en sitios específicos del huerto.

La elección de la especie y variedad a plantar es otro factor determinante. En general, las frutas tempranas son más susceptibles a las heladas. Asimismo, ciertos patrones radiculares pueden conferir mayor tolerancia a bajas temperaturas. Este principio también aplica a las hortalizas. Según el Boletín INIA N° 65, existen especies que no toleran las heladas, tales como: albahaca, ají, berenjena, camote, maíz, papa, pepino dulce, pimentón, poroto verde, poroto granado, sandía, tomate, zapallo y zapallito italiano.

8.4.1.2. Uso de barreras al movimiento del aire

Para analizar la posibilidad de instalar o eliminar barreras, es necesario conocer previamente por dónde ocurre el paso del aire frío. Pueden existir situaciones que faciliten su paso hacia el cultivo, como son bajos, cauces de agua, donde es adecuada la instalación de barreras que desvíen su paso. También puede haber barreras como alamedas, bosquetes,

etc., que obstaculizan la salida del aire frío desde la plantación, en cuyo caso se deberían eliminar.

El aire frío es más denso que el aire caliente, y por ello fluye ladera abajo y se acumula en las zonas más bajas como el agua (Figura 5). En consecuencia, se deben evitar las partes más bajas, por tanto, más frías, a no ser que se disponga como estrategia de manejo a largo plazo de métodos de protección activa con una relación coste efectividad adecuada. Esto es importante tanto a escala regional como a escala de parcela.

Quizás uno de los mejores ejemplos de la protección contra el drenaje de aire frío a escala regional se encuentra en un campo de almendros al sur de Sacramento, California. El campo está junto a un río y está completamente rodeado por una cerca alta y sólida de madera (Figura 6). Al estar situado junto al río, el campo está en una zona baja del valle y donde son habituales las temperaturas frías. La cerca se construyó alrededor de los árboles como un dique contra el aire frío para proteger el cultivo del daño por helada. La Figura 7 muestra un ejemplo similar al anterior, en donde las flechas azules muestran el movimiento del aire frío dentro del campo. La barrera instalada por el productor, representada por una estructura ubicada transversalmente al flujo de aire, tiene como objetivo interrumpir, desviar o disminuir la velocidad de este desplazamiento. De esta manera, se busca evitar que el aire frío se acumule directamente en la zona donde se encuentran los árboles o cultivos.

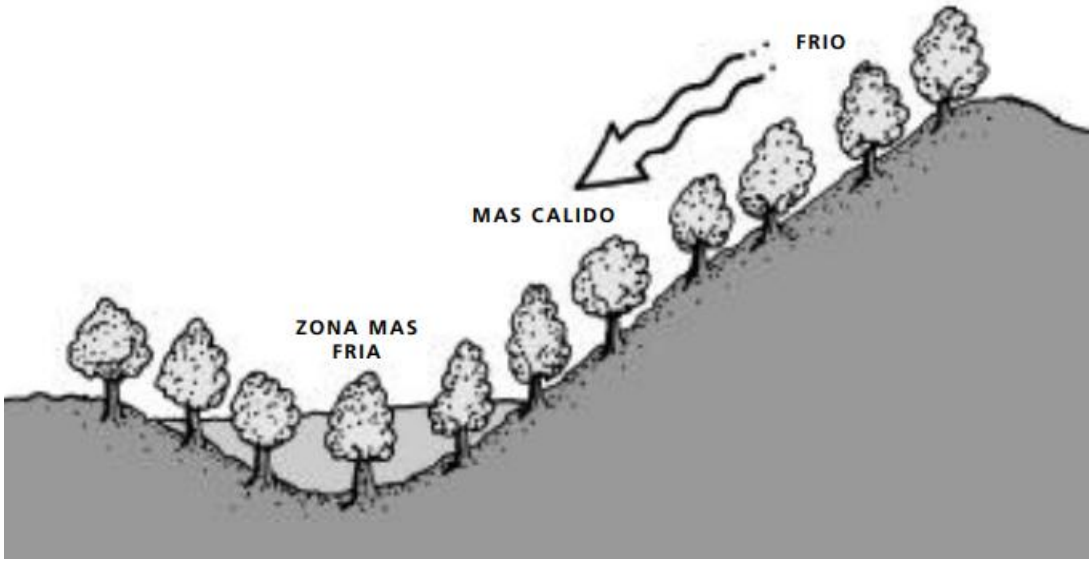


Figura 5: Ilustración demostrativa del que el aire frío drena hacia abajo por la ladera y se establece en las zonas más bajas, donde hay más probabilidad de daño por helada.

Nota: Tomado de Snyder, R., & de Melo-Abreu, J.,2010

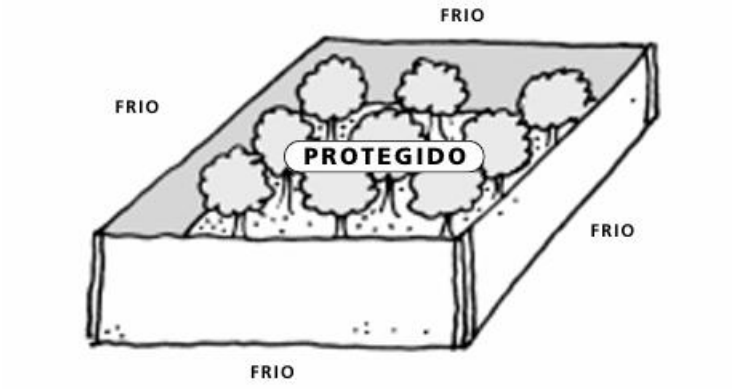


Figura 6: Ilustración demostrativa del bloqueo del aire frio mediante cerca solida construida alrededor de un campo de frutales.

Nota: Tomado de Snyder, R., & de Melo-Abreu, J.,2010

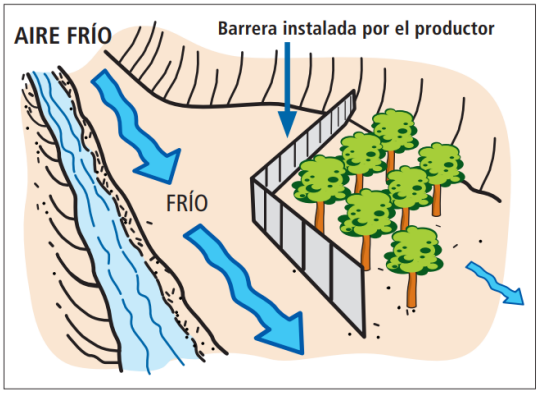


Figura 7: Ilustración de método uso de barreras al movimiento del aire

Nota: Tomado de Heladas. Tipos, Medidas de Prevención Y Manejos Posteriores al daño (Adonis, 2016)

8.4.1.3. Manejo de la humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo constituye un factor relevante en la prevención de daños ocasionados por heladas, debido a su estrecha relación con la capacidad de almacenamiento y liberación de calor. Los suelos con baja humedad presentan una mayor proporción de poros ocupados por aire, el cual posee una reducida capacidad calórica y se enfría con mayor rapidez. Como consecuencia, estos suelos almacenan menos energía térmica durante el día y aportan una menor cantidad de calor al ambiente durante la noche.

Por el contrario, mantener una humedad del suelo elevada, cercana a la capacidad de campo, permite incrementar su capacidad para acumular calor durante las horas de radiación solar. Posteriormente, parte de este calor puede ser liberado durante la noche, contribuyendo a moderar la disminución de la temperatura en el entorno inmediato de los cultivos. Se ha observado que esta práctica puede elevar la temperatura aproximadamente en 0,3 °C en comparación con suelos que presentan un menor contenido de humedad.

En este sentido, el riego previo a períodos con riesgo de heladas constituye una medida preventiva de carácter pasivo, particularmente adecuada frente a heladas radiativas. No obstante, su implementación debe planificarse de acuerdo con la disponibilidad hídrica, las características físicas del suelo, el sistema de riego utilizado y las necesidades específicas del cultivo, evitando excesos de agua que puedan afectar la aireación radicular o generar condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas.

8.4.1.4. Manejo de la cobertura vegetal

La presencia de cobertura vegetal en la entre hilera puede aumentar la susceptibilidad del huerto frente a las heladas, especialmente durante eventos de tipo radiativo. Esto se debe a que la vegetación intercepta parte de la radiación solar que debería llegar al suelo durante el día, reduciendo su capacidad para acumular calor. Asimismo, durante la noche, una cubierta vegetal denso limita la transferencia del calor almacenado en el suelo hacia el ambiente cercano a las plantas, favoreciendo un descenso más rápido de la temperatura en la zona de cultivo.

Por esta razón, en períodos de riesgo de heladas se recomienda eliminar la cobertura vegetal existente en la entre hilera o, cuando ello no sea posible, mantenerla a una altura mínima. Esta práctica permite que una mayor proporción de la radiación solar alcance la superficie del suelo y contribuya al almacenamiento de energía térmica durante el día, la cual puede liberarse gradualmente durante la noche.

En el caso de las coberturas plásticas, las de color claro pueden ofrecer una mayor protección que las de color negro, debido a que favorecen una mayor acumulación de energía radiante en el suelo. En consecuencia, cuando se requiera utilizar una cobertura plástica en sectores expuestos a heladas, resulta preferible optar por materiales claros, evaluando previamente su compatibilidad con las condiciones de manejo, humedad y temperatura requeridas por el cultivo.

8.4.1.5. Evitar la remoción del suelo entre hileras

Durante los períodos de mayor riesgo de heladas, no se recomienda realizar labores de remoción, rastreo o arado del suelo entre las hileras del cultivo. Estas intervenciones generan terrones y aumentan la cantidad de espacios porosos ocupados por aire, el cual posee una baja capacidad para almacenar y transferir calor. Como consecuencia, un suelo removido acumula menos energía térmica durante el día y libera una menor cantidad de calor hacia la superficie durante la noche, favoreciendo el descenso de la temperatura en el área próxima a las plantas.

Por el contrario, mantener el suelo firme, nivelado y con la menor intervención posible permite mejorar el almacenamiento de calor y su transferencia hacia el ambiente durante las horas nocturnas. Esta condición puede complementarse con el mantenimiento de una humedad adecuada, cercana a la capacidad de campo, dado que un suelo húmedo presenta una mayor eficiencia para absorber, almacenar y liberar energía térmica.

8.4.1.6. Uso de cubiertas sobre las plantas

El uso de cubiertas sobre los cultivos constituye una medida de protección que ha adquirido creciente importancia frente al riesgo de heladas. Estas estructuras, tales como túneles, mantos térmicos, carpas o cubiertas plásticas, generan un microclima bajo el material de protección, en el cual la temperatura puede mantenerse por sobre la registrada a cielo abierto. Su funcionamiento se basa principalmente en la reducción de la pérdida de calor emitido por el suelo y la vegetación durante la noche, lo que permite disminuir la intensidad del enfriamiento en el entorno inmediato de las plantas.

Sin embargo, se debe tener cuidado en dos aspectos: a) El cálculo de la resistencia del sistema para resistir peso de hielo (o lluvia y eventualmente nieve) y b) Seleccionar la calidad del plástico, lo cual depende de su composición y gramaje. Los de mayor calidad, aunque más caros, son de polipropileno. En ningún caso se debe utilizar polietilenos delgados, pues a través de ellos se pierde el calor libremente. FAO señala que la protección por uso de cubiertas oscila entre 1 y 5 °C, dependiendo del grosor del plástico. También indica que si bien ha habido casos de aumento de temperatura del aire bajo cubiertas de color negro, los mejores resultados se obtienen con plásticos de tipo traslúcidos. Las carpas o cubiertas plásticas disminuyen el efecto de heladas radiativas y, si están bien diseñadas, podrían disminuir efecto de heladas advectivas al limitar ingreso de masas de aire frío al cuartel. La figura 8 ejemplifica un huerto frutal protegido mediante cubiertas plásticas instaladas directamente sobre las plantas. Estas estructuras están sostenidas por postes y elementos de apoyo, formando una especie de túnel o techo que cubre la parte superior del cultivo. La cubierta actúa como una barrera física entre las plantas y la atmósfera exterior. Durante el día, permite el ingreso de parte de la radiación solar, favoreciendo el

calentamiento del suelo y del aire bajo la estructura. Durante la noche, reduce la pérdida de calor desde el suelo y la vegetación hacia la atmósfera, contribuyendo a mantener una temperatura más elevada alrededor de las plantas.



Figura 8: Ilustración de método uso de cubiertas sobre las plantaciones

Nota: Tomado de Heladas. Tipos, Medidas de Prevención Y Manejos Posteriores al daño (Adonis, 2016)

8.4.1.7. Aplicación de productos protectores

La aplicación de sustancias protectoras sobre los cultivos corresponde a una alternativa complementaria para reducir el daño ocasionado por bajas temperaturas. Estos productos pueden actuar mediante distintos mecanismos: algunos favorecen respuestas fisiológicas que incrementan la tolerancia de los tejidos vegetales al frío, mientras que otros forman una película o cubierta sobre la superficie de la planta, disminuyendo la velocidad con que esta pierde calor hacia el ambiente.

Bajo determinadas condiciones y dependiendo del producto, la especie cultivada y el estado fenológico de la planta, estas sustancias pueden contribuir a aumentar la resistencia frente a temperaturas cercanas a los -5° C. Sin embargo, su efectividad no debe considerarse uniforme ni garantizada para todos los cultivos, debido a que la respuesta puede variar según la variedad, la dosis aplicada, el momento de aplicación, las condiciones de humedad, la intensidad de la helada y la duración del período de bajas temperaturas.

Por esta razón, antes de implementar este tipo de tratamiento a escala productiva, es recomendable realizar ensayos en sectores acotados del predio y evaluar su comportamiento en la especie y variedad de interés. Asimismo, la selección del producto debe efectuarse con asesoría técnica especializada, considerando tanto su registro y autorización para el cultivo como su compatibilidad con el programa fitosanitario, los posibles efectos sobre la calidad de la fruta y el costo de aplicación.

8.4.2. Métodos Activos

Los métodos activos de protección contra heladas constituyen un conjunto de intervenciones técnicas aplicadas durante episodios de riesgo de helada, con el objetivo de modificar el microclima del cultivo y evitar que los tejidos vegetales alcancen temperaturas críticas de daño fisiológico. Estos métodos se distinguen de las medidas pasivas porque requieren activación operativa en la noche del evento, implican costos variables de energía, agua y mano de obra, y su eficacia depende del tipo de helada y de las condiciones locales del predio.

8.4.2.1. Riego por aspersión elevado

El riego por aspersión antihelada es uno de los métodos activos más utilizados y eficaces para proteger cultivos leñosos (frutales, viñedos) y algunas hortalizas frente a heladas radiativas. Su fundamento físico es el aprovechamiento del calor latente de fusión del agua: al congelarse, cada gramo de agua libera aproximadamente 80 calorías de energía, lo que permite mantener la temperatura de hojas, brotes y frutos cerca de 0 °C mientras persista el suministro continuo de agua líquida sobre la planta.

Cuando la temperatura del aire desciende bajo 0 °C, el agua aplicada por los aspersores comienza a enfriarse y, al alcanzar el punto de congelación, se cristaliza sobre la superficie vegetal formando una capa de hielo. Durante este proceso de cambio de fase (líquido → sólido), el agua libera calor latente de fusión (~80 cal/g), el cual compensa las pérdidas de calor del tejido por radiación, convección y evaporación, manteniendo la temperatura del dosel en torno a 0 °C. Mientras exista un flujo continuo de agua líquida que se esté congelando, la temperatura del tejido no desciende significativamente por debajo de 0 °C, evitando así que alcance umbrales críticos de daño.

Este sistema se asocia a humedad y posible proliferación de enfermedades, especialmente durante la floración, por lo que es poco recomendable usar en almendros, damascos o en condiciones de floraciones tempranas en otras especies. En algunos casos se considera necesario incluir en los costos aplicaciones adicionales de fungicidas tras el uso de este método. En heladas extremas, la quebradura de ramas por acción del peso del hielo sobre el follaje puede provocar pérdidas importantes.

La aspersión debe iniciarse antes de que la temperatura del tejido alcance 0 °C y mantenerse sin interrupciones hasta que la temperatura del aire suba por encima del umbral

de riesgo y el hielo comience a fundirse naturalmente. Un corte prematuro puede provocar evaporación del agua no congelada, enfriamiento adicional y daños incluso mayores que sin protección.

El riego por aspersión antihelada es un método activo basado en principios termodinámicos bien establecidos, que ofrece alta eficacia en heladas radiativas cuando se diseña y opera correctamente, pero que requiere una evaluación cuidadosa de la disponibilidad hídrica, la infraestructura necesaria y los riesgos asociados a su uso intensivo.

8.4.2.2. Riego Superficial

El riego superficial puede utilizarse como complemento para la protección contra heladas en determinadas condiciones. El agua almacenada o aplicada sobre la superficie puede liberar calor hacia el ambiente y contribuir a modificar las condiciones térmicas cercanas al cultivo.

8.4.2.3. Estufas o calefactores

El método de estufas o calefactores consiste en distribuir fuentes puntuales de calor dentro del cultivo para elevar la temperatura del aire en la zona del dosel y compensar las pérdidas energéticas nocturnas durante una helada. Es uno de los sistemas de protección activa más tradicionales, basado en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, y su eficacia depende del número, ubicación y potencia de las estufas, así como de las condiciones meteorológicas (intensidad de la helada, viento, humedad).

Durante una noche de helada radiativa, el suelo y la vegetación pierden calor por radiación hacia la atmósfera, generando un gradiente térmico negativo cerca de la superficie. Las estufas aportan calor sensible al aire circundante mediante la combustión de un

combustible, elevando la temperatura local y creando corrientes de convección que distribuyen parcialmente ese calor en el volumen de aire del cultivo. El objetivo no es calentar directamente los tejidos vegetales, sino modificar el balance energético del microclima, reduciendo el déficit térmico que experimentan las plantas.

Las estufas antihelada se clasifican principalmente según el tipo de combustible utilizado:

- **Combustibles sólidos**: incluyen leña, carbón, coque, briquetas de turba o parafina sólida. Son relativamente económicos y fáciles de almacenar, pero presentan una combustión menos controlable, mayor generación de residuos (cenizas) y emisiones de partículas. Algunas estufas modernas usan briquetas de turba prensada de alta duración como alternativa más sostenible a la parafina o el gas.
- **Combustibles líquidos**: como diésel, querosén o fuel-oil. Ofrecen mayor facilidad de regulación del flujo y potencia, pero implican costos variables según el precio del petróleo y requieren tanques de almacenamiento y sistemas de bombeo o gravedad para la alimentación.
- **Combustibles gaseosos**: principalmente gas licuado de petróleo (GLP, propano/butano) y, en menor medida, gas natural. Permiten una combustión más limpia y eficiente, con menor emisión de residuos sólidos y mayor facilidad de automatización.

  En caso de usar calentadores fijos, se obtienen mejores resultados usando calentadores más pequeños y en mayor cantidad, ubicándolos en zonas que

ayuden a mantener el calor en la atmósfera del huerto. Para ello deberían distribuirse de manera uniforme y en mayor cantidad en los bordes y en los puntos bajos del sitio a controlar. En sistemas bien diseñados y correctamente distribuidos, se logran aumentos de temperatura de 5 a 7 ºC, a costa de mantenerlos encendidos sin interrupción por largo tiempo sin interrupción. Dependiendo del diseño de los calefactores, se requieren de 100 a 130 unidades por hectárea. Su costo por combustible es alto. Su aplicación es apta para heladas de tipo radiativa, pero cuando hay viento, los calentadores no dan suficiente protección. Existen calentadores de aire móviles, que son de menor costo. Su aplicación requiere bastante trabajo pues para mantener la masa de aire caliente en la zona a proteger, es necesario volver al mismo lugar entre 10 a 20 minutos. Por lo mismo no es eficiente con temperaturas muy bajas y no responde muy bien en cultivos bajos como viñas viníferas. Su aplicación, donde logre eficiencia, es apta para heladas de tipo radiativas. (Adonis, 2016)

8.4.2.4. Helicópteros

El uso de helicópteros para protección contra heladas es una variante móvil y de alta capacidad de los sistemas de mezcla de aire por ventiladores, basada en generar un flujo descendente de aire que rompe la inversión térmica nocturna y mezcla el aire más cálido de capas superiores con el aire frío cercano al suelo.

El mecanismo es esencialmente el mismo que el de las torres de viento o ventiladores fijos, pero con mayor movilidad y capacidad de cobertura por unidad de tiempo. La condición

indispensable para que el método sea efectivo es la presencia de una inversión térmica clara: si la temperatura en altura no es mayor que la del suelo, el helicóptero puede incluso empeorar la situación al mezclar aire igualmente frío o más frío hacia el dosel.

Este método posee altos costos operacionales y es de uso limitado a algunas zonas, debido al nivel de ruido. Es un buen método pues combina la remoción del aire, (por sus aspas), con el calentamiento, (por su turbina), pero requiere de pasadas frecuentes (cada 15 a 20 minutos) y a baja altura. Cuando la inversión térmica es débil, o en heladas por advección, el helicóptero no es útil para el control de heladas.

Un solo helicóptero puede proteger decenas de hectáreas en una noche, permite desplazarse rápidamente entre bloques, predios o zonas frías puntuales, adaptándose a la evolución espacial de la helada. Comparado con ventiladores fijos, el helicóptero tiene la ventaja de poder ajustar la altura de operación a la capa de inversión y desplazarse a sectores críticos, pero la protección que ofrece en un punto dado es de corta duración, lo que exige una programación intensiva de pasadas.

8.4.2.5. Ventiladores o torres de viento

Los ventiladores o torres de viento son sistemas mecánicos utilizados para proteger cultivos frente a determinados eventos de bajas temperaturas. Su principio de funcionamiento se basa en la generación de movimiento y mezcla del aire presente sobre una plantación, con el propósito de aprovechar las diferencias de temperatura que pueden existir entre las capas inferiores y superiores de la atmósfera durante una helada radiativa.

A diferencia de los sistemas de calefacción, estas máquinas no producen energía térmica adicional. Su capacidad de protección depende de la redistribución del calor sensible

existente en el ambiente. Cuando se presenta una inversión térmica, el aire cercano al suelo puede encontrarse a una temperatura inferior a la existente a mayor altura. La hélice genera un flujo de aire que favorece la mezcla de estas masas, desplazando aire relativamente más cálido hacia la zona donde se encuentra el cultivo.

Una hélice antihelada está compuesta generalmente por una torre, un sistema de accionamiento, una hélice de gran diámetro, un mecanismo de orientación y un sistema de control. La hélice suele instalarse a una altura superior a la del cultivo para favorecer la captación del aire más cálido presente en la inversión térmica. Algunos equipos incorporan un giro horizontal que permite orientar el flujo de aire en distintas direcciones y ampliar la superficie protegida.

Desde el punto de vista aerodinámico, estas hélices no se diseñan principalmente para producir una gran velocidad de aire, sino para movilizar un volumen elevado de aire con un consumo energético razonable. Por lo tanto, el diseño debe priorizar el caudal, la estabilidad de funcionamiento y la capacidad de mezcla. El diámetro, el número de palas, el ángulo de paso, la velocidad de rotación y la altura de instalación son variables que influyen directamente en el área protegida y en la distribución de la temperatura.

Una instalación de protección mediante hélice antihelada está compuesta generalmente por los siguientes elementos:

- **Hélice:** Elemento encargado de generar el movimiento de aire. Su diámetro, número de palas, geometría y velocidad de rotación determinan en gran medida el volumen de aire desplazado.
- **Motor:** Proporciona la potencia mecánica necesaria para accionar la hélice. Dependiendo del diseño, puede utilizarse un motor eléctrico o un motor de combustión interna.

- **Torre o estructura de soporte:** Permite elevar la hélice sobre el nivel del cultivo, facilitando la captación y redistribución del aire de las capas superiores.
- **Sistema de transmisión:** Conecta el motor con la hélice y permite transmitir el par necesario para su funcionamiento.
- **Sistema de control:** Permite realizar el encendido y apagado del equipo, ya sea de forma manual o automática. En sistemas automatizados, puede incorporar sensores de temperatura y otros parámetros meteorológicos.
- **Sistema de alimentación energética:** Corresponde a la fuente de energía utilizada para accionar el motor, pudiendo corresponder a una conexión eléctrica, un generador o combustible.

Uno de los principales aspectos que deben considerarse en el diseño y utilización de una hélice antihelada es que no todas las condiciones de helada son adecuadas para este método de protección. Su mayor efectividad se presenta durante las heladas radiativas, caracterizadas por cielos despejados, baja velocidad del viento y presencia de inversión térmica.

En cambio, durante una helada advectiva, donde una masa de aire frío se desplaza sobre la superficie agrícola y existe una mezcla atmosférica importante, la utilización de hélices presenta una efectividad considerablemente menor. Esto se debe a que no existe necesariamente una capa de aire cálido sobre el cultivo que pueda ser incorporada mediante la mezcla mecánica.

Otro factor importante corresponde a la altura de la inversión térmica. Si el aire más cálido se encuentra demasiado alejado del cultivo, la capacidad de la hélice para transportarlo hacia la superficie puede disminuir. Por esta razón, antes de instalar un sistema de protección

es necesario realizar una caracterización de las condiciones meteorológicas y topográficas del sector. Asimismo, la distribución espacial de los equipos debe ser considerada cuidadosamente. El área protegida depende de características como la potencia del equipo, diámetro y velocidad de la hélice, altura de instalación, topografía y condiciones meteorológicas. Una separación excesiva entre equipos puede generar zonas con menor protección, mientras que una disposición demasiado densa puede aumentar innecesariamente los costos de inversión y operación.



Figura 9: Hélice para control de heladas Tow and Blow, modelo diésel TBD 650 H

Nota: Tomado de Zimex smart agro. (2024).



Figura 10: Ventilador de control de heladas Modelo C49 (4 aspas)

Nota: Tomado de FrostBoss (2021)

Las hélices antiheladas pueden clasificarse, de acuerdo con su sistema de instalación, en torres fijas como muestra la figura 10 o bien en torres móviles tal y como se observa en la figura 9. Ambas utilizan el mismo principio de funcionamiento, basado en la mezcla del aire frío próximo al cultivo con aire de mayor temperatura ubicado en niveles superiores de la atmósfera. Sin embargo, presentan diferencias importantes en cuanto a su implementación y operación.

Las torres fijas corresponden a instalaciones permanentes dentro del predio agrícola. La hélice se encuentra montada sobre una estructura que permanece en una posición determinada y cuya ubicación se selecciona considerando factores como la topografía, distribución del cultivo y comportamiento de las temperaturas durante las heladas.

Una de sus principales ventajas es la disponibilidad inmediata durante un evento de helada. Al encontrarse permanentemente instaladas, pueden incorporarse sistemas

automáticos de activación mediante sensores de temperatura, reduciendo la necesidad de intervención del operador.

Además, las torres fijas permiten diseñar una distribución permanente de los equipos para cubrir una superficie determinada. Esto resulta especialmente conveniente en huertos donde las heladas son recurrentes y existe una distribución relativamente estable de las zonas de riesgo. Sin embargo, presentan una menor flexibilidad puesto que una vez instalada la torre, su área de protección queda condicionada por su ubicación y por las características del terreno.

Por otro lado, las torres móviles están diseñadas para ser trasladadas entre diferentes sectores del predio. Su principal ventaja es la flexibilidad operacional, ya que un mismo equipo puede utilizarse en distintas zonas dependiendo de la ubicación y severidad esperada de la helada, lo que a su vez implica una mayor participación del operador, es decir, el equipo debe ser trasladado, posicionado y puesto en funcionamiento antes o durante el evento de helada.

8.5. Evaluación de proyectos

8.5.1. Concepto de Proyecto

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema, la cual tiende a resolver una necesidad humana. En este sentido puede haber diferentes ideas, inversiones de monto distinto, tecnología y metodologías con diverso enfoque, pero todas ellas destinadas a satisfacer necesidades del ser humano en todas sus facetas, como pueden ser: educación, alimentación, salud, cultura, etc. (Baca G. 2016, p.9)

8.5.2. Proyecto de Inversión

El proyecto de inversión que, si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, producirá un bien o un servicio, útil a la sociedad. La evaluación de un proyecto de inversión, cualquiera que este sea, tiene por objetivo conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable. Sólo así es posible asignar los recursos económicos a la mejor alternativa. (Baca G. 2016, p.9)

8.5.3. Etapas de un Proyecto

Cada autor tiene su forma de clasificar las etapas de un proyecto de inversión. Este trabajo de memoria de título se basa en el modelo presentado por el autor Sapag, N. (2007) en donde establece cuatro grandes etapas: la generación de la idea, los estudios de preinversion, la inversión para la implementación y la puesta en marcha.

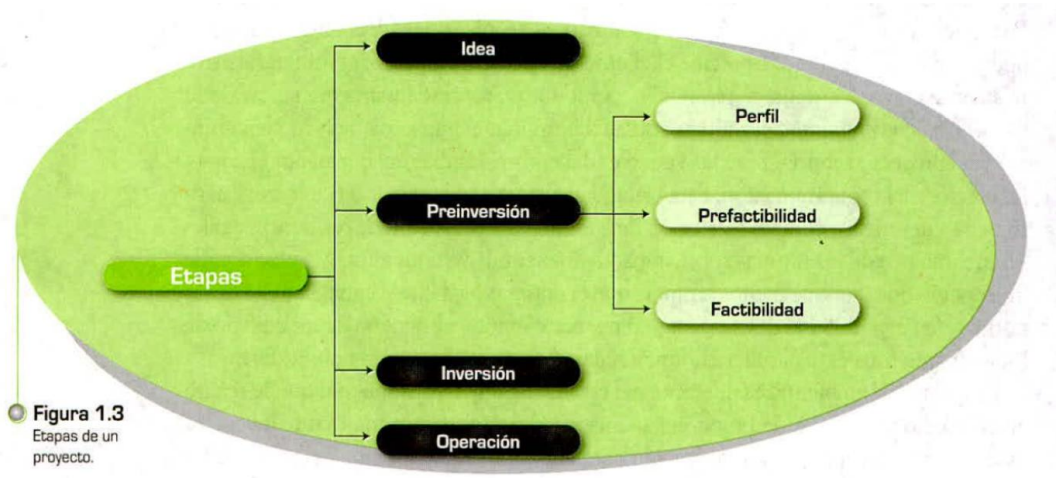


Figura 11: Etapas de un proyecto.

Nota: tomado de Proyectos de inversión (Sapag, N. 2007).

La etapa de idea corresponde al proceso sistemático de búsqueda de nuevas oportunidades de negocios o de posibilidades de mejoramiento en el funcionamiento de una empresa, proceso que surge de la identificación de opciones de solución de problemas e ineficiencias internas que pudieran existir, o de las diferentes formas de enfrentar las oportunidades de negocios que se pudieran presentar. Es en la etapa de idea donde se realiza el primer diagnóstico de la situación actual. Aquí se debe vincular el proyecto con la solución de un problema, donde se encuentren las evidencias básicas que demuestren la conveniencia de implementarlo.

La etapa de preinversión corresponde al estudio de la viabilidad económica de las diversas opciones de solución identificadas para cada una de las ideas de proyectos. Esta etapa se puede desarrollar de tres formas distintas, dependiendo de la cantidad y la calidad de la información considerada en la evaluación: perfil, prefactibilidad y factibilidad.

La etapa de Perfil corresponde al primer nivel formal de análisis de un proyecto. Se basa principalmente en información secundaria, antecedentes generales y estimaciones

iniciales que permiten examinar, de manera preliminar, sus dimensiones técnicas, económicas, institucionales y ambientales. El propósito de esta fase es determinar si la iniciativa reúne las condiciones básicas para continuar con un estudio más detallado. Asimismo, permite identificar y descartar aquellas alternativas que resultan evidentemente inviables, concentrando el análisis posterior en las opciones que presentan mayores posibilidades de ejecución. Por ello, la etapa de perfil cumple la función de actuar como un filtro inicial dentro del proceso de evaluación del proyecto.

Los niveles de prefactibilidad y factibilidad son esencialmente dinámicos; es decir, proyectan los costos y beneficios a lo largo del tiempo y los expresan mediante un flujo de caja estructurado en función de criterios convencionales previamente establecidos. En el nivel de prefactibilidad se proyectan los costos y beneficios con base en criterios cuantitativos, pero sirviéndose mayoritariamente de información secundaria. En el de factibilidad, la información tiende a ser demostrativa, y se recurre principalmente a información de tipo primario. La información primaria es la que genera la fuente misma de la información.

A diferencia de la etapa de factibilidad, la prefactibilidad no pretende definir completamente la ingeniería del proyecto ni reunir todos los antecedentes necesarios para iniciar su ejecución. Su finalidad es alcanzar un nivel de análisis que permita tomar una decisión fundamentada sobre el futuro de la iniciativa. Si los resultados son positivos, el proyecto puede avanzar hacia un estudio de factibilidad; si son desfavorables, puede ser reformulado, postergado o descartado.

La etapa de factibilidad representa una fase avanzada del proceso de evaluación de proyectos, en la que se analiza exhaustivamente la alternativa seleccionada. Su finalidad es

alcanzar un grado de precisión y definición suficiente para respaldar una decisión definitiva respecto de la inversión.

La etapa de inversión, en tanto, corresponde al proceso de implementación del proyecto, donde se materializan todas las inversiones previas a su puesta en marcha.

Finalmente, la etapa de operación es aquella en la que la inversión ya materializada está en ejecución, es la fase de mayor movilización de recursos del proyecto. Implica poner en marcha todas las actividades planificadas, gestionando de manera coordinada al equipo humano, los materiales y el financiamiento.

8.5.4. Tipos de evaluación

Para determinar la viabilidad integral del proyecto, se establece un enfoque metodológico multidimensional estructurado en tres ejes fundamentales: técnico, económico y ambiental. Esta evaluación sistemática permite mitigar los riesgos operativos, garantizar la sostenibilidad financiera y asegurar el cumplimiento normativo y el respeto por el entorno.

8.5.4.1. Evaluación técnica

La evaluación técnica tiene como propósito fundamental verificar la factibilidad operativa y de ingeniería del proyecto. Mediante este análisis, se determina si se cuenta con la capacidad tecnológica, la infraestructura y los recursos necesarios para la correcta ejecución y mantenimiento de las operaciones.

8.5.4.2. Evaluación económica

La evaluación económica busca cuantificar el valor financiero que generará el proyecto, con el fin de justificar la asignación de recursos y capital. Este análisis permite a los inversionistas y tomadores de decisiones medir el retorno económico frente a los riesgos

asumidos. Normalmente en esta etapa se analizan la inversión inicial, costos operativos y de mantención, ingresos y/o beneficios.

8.5.4.3. Evaluación ambiental

La evaluación ambiental evalúa de forma proactiva la interacción del proyecto con el ecosistema y las comunidades colindantes. Su objetivo es identificar, cuantificar y mitigar las externalidades negativas, transformando la variable ambiental en un factor de competitividad y sostenibilidad.

9. Desarrollo

9.1. Metodología del Proyecto

La metodología del presente estudio se desarrolla bajo un enfoque de prefactibilidad, cuyo propósito es evaluar las condiciones técnicas y económicas asociadas a la implementación de un sistema automatizado de protección contra heladas mediante hélices antiheladas en una plantación de naranjos ubicada en la Región de O'Higgins. Para ello, se integran el análisis de las condiciones climáticas y topográficas del área de estudio, la definición de los requerimientos técnicos del sistema, el nivel de automatización propuesto y la estimación de los costos y beneficios económicos vinculados con su eventual implementación.

9.1.1. Tipo de estudio

El presente estudio corresponde al tipo descriptivo y aplicado puesto que, en base a conocimientos de climatología, protección agrícola, automatización, y evaluación de proyectos se aborda una problemática concreta asociada a las perdidas productivas ocasionadas por las heladas.

Asimismo, presenta un enfoque predominantemente cuantitativo, dado que una parte importante del análisis se desarrolla mediante la recopilación y procesamiento de variables medibles, tales como temperaturas mínimas, frecuencia de eventos de heladas, velocidad del viento, humedad relativa, superficie de cultivo, área de cobertura de las hélices, potencia instalada, horas de funcionamiento, consumo energético, inversión inicial, costos de operación y mantenimiento y pérdidas económicas asociadas a las heladas.

9.1.2. Alcance y limitaciones

La investigación tendrá como alcance el estudio de prefactibilidad técnico-económica de una solución de protección contra heladas basada en hélices antiheladas, aplicada a una plantación de naranjos utilizada como caso de estudio. El estudio comprenderá el análisis general del fenómeno de las heladas y sus efectos sobre la agricultura chilena, para posteriormente abordar las condiciones particulares a dicho caso de estudio.

En términos técnicos, se considerará el análisis de las características de las hélices antiheladas, sus requerimientos de operación, distribución y cobertura, además de la incorporación conceptual de sensores para el monitoreo de variables microclimáticas, sistemas de control automático y herramientas de monitoreo remoto.

En términos económicos, se estimarán los costos asociados a la inversión inicial, instalación, operación, consumo energético y mantenimiento del sistema. Asimismo, se

estimarán los beneficios económicos derivados de la reducción potencial de las pérdidas provocadas por eventos de helada. La evaluación económica considerará indicadores tales como Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Retorno sobre la Inversión (ROI) y período de recuperación de la inversión, complementados con un análisis de sensibilidad sobre las principales variables que pueden afectar la rentabilidad del proyecto.

El caso de estudio mencionado consiste en una plantación de naranjos para contextualizar y dimensionar la propuesta, sin embargo, los resultados técnicos y metodológicos podrán servir como referencia para evaluar la solución en otros campos agrícolas de condiciones similares y comparables al del caso de estudio.

La investigación presenta limitaciones que deben ser consideradas al interpretar sus resultados. En primer lugar, el estudio corresponde a una evaluación de prefactibilidad y no contempla la implementación física de las hélices antiheladas ni la realización de una prueba experimental a escala real. Por esta razón, el desempeño técnico del sistema y el nivel efectivo de protección frente a eventos de helada serán determinados mediante antecedentes disponibles, características técnicas de los equipos y estimaciones asociadas al caso de estudio, y no mediante mediciones obtenidas durante una temporada completa de operación.

Una segunda limitación corresponde a la disponibilidad y representatividad de información climática. La evaluación del riesgo de heladas depende de registros históricos de temperatura, viento, humedad y otras variables meteorológicas, por lo que la precisión de los resultados estará condicionada por la calidad, extensión temporal y resolución espacial de los datos disponibles. Asimismo, las condiciones microclimáticas pueden presentar variaciones dentro de una misma plantación que no necesariamente sean representadas completamente mediante información meteorológica general.

Otra limitación está relacionada con la estimación de las pérdidas productivas ocasionadas por las heladas. La magnitud del daño depende de factores como la temperatura alcanzada, duración del evento, estado fenológico del cultivo, variedad, condiciones fisiológicas de las plantas y características particulares del terreno. En consecuencia, la estimación de pérdidas económicas será en base a información entregada por el dueño del predio en base a sus recuerdos de las pérdidas de los últimos años.

9.1.3. Etapa de análisis

Se aborda la evaluación de prefactibilidad del proyecto que se plantea como un caso de estudio correspondiente a una plantación agrícola de naranjos ubicada en la Región de O'Higgins. Esta definición permite analizar las condiciones particulares del cultivo y del emplazamiento para dimensionar una solución de protección mediante hélices antiheladas.

El enfoque de prefactibilidad permite evaluar de manera integrada dos dimensiones principales, la técnica y la económica, de igual forma se considera una tercera dimensión que corresponde a las ambientales.

En la evaluación técnica se analiza las condiciones del predio agrícola, el comportamiento de las heladas y las características de las hélices. Esta etapa permite seleccionar el equipo a utilizar, sus características técnicas de funcionamiento y estimar los recursos necesarios.

A continuación, se desarrolla una evaluación económica, considerando la estimación de la inversión inicial, los costos operativos y de mantención, perdidas por eventos de helada y beneficios proyectados por el aumento de producción al disminuir las perdidas ocasionados

por las heladas. De esta manera se construye el respectivo flujo de caja el cual permitirá evaluar la rentabilidad del proyecto mediante indicadores económicos.

También se considera la evaluación ambiental enfocada principalmente en la contaminación acústica, puesto que esta tecnología genera ruidos al mover grandes masas de aire, típicamente de noche o durante la madrugada momento en donde las comunidades vecinas descansan y las normas ambientales exigen límites estrictos.

Como última etapa se realiza un análisis de los resultados obtenidos en cada etapa mencionada y de esta forma tener una visión completa de la prefactibilidad del caso de estudio.

9.1.4. Fuentes de información

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán fuentes de información primarias y secundarias.

Las fuentes primarias estarán constituidas principalmente por los antecedentes específicos de la plantación seleccionada como caso de estudio. Entre ellos se consideran información sobre superficie, número y distribución de árboles, variedad, edad del cultivo, producción histórica, infraestructura disponible, sistemas de riego, disponibilidad energética y antecedentes sobre eventos de heladas observados en el predio.

Las fuentes secundarias estarán constituidas por información proveniente de organismos públicos, literatura científica, publicaciones técnicas, fichas de fabricantes, catálogos de equipos, información meteorológica histórica y antecedentes de mercado relacionados con los componentes necesarios para la implementación del sistema.

Para los antecedentes económicos se utilizarán cotizaciones, precios de referencia y especificaciones técnicas de proveedores de equipos y componentes. Cuando sea necesario

realizar estimaciones debido a la ausencia de precios definitivos, se establecerán supuestos explícitos y se incorporarán escenarios de variación en el análisis económico.

Finalmente, para la evaluación ambiental se utilizaron antecedentes bibliográficos de la normativa vigente, particularmente aquella que regula el ruido generado por fuentes fijas.

9.2. Evaluación técnica

9.2.1. Localización del proyecto

El predio agrícola estudiado se emplaza en el sector Pataguas Orillas, comuna de Pichidegua, en la Región del Libertador General Bernardo O´Higgins. Es un terreno de carácter rural ubicado en las coordenadas latitud 34.287 sur, longitud 71.362 oeste aproximadamente, cuenta con una superficie de 6 hectáreas la cual está en su totalidad destinada a la plantación de naranjos.



Figura 12: Terreno agrícola de plantación de naranjos.

Dentro del predio se encuentran establecidas distintas variedades de naranjos, distribuidas en superficies de diferente extensión y con edades variables. Las plantaciones fueron establecidas en distintos períodos, abarcando aproximadamente desde el año 2000 hasta el año 2021, lo que genera una composición heterogénea en cuanto a edad, variedad y superficie cultivada. A continuación, se detallan las principales características de cada sector de plantación

9.2.1.1.1. Lane Late

Es una naranja de maduración tardía perteneciente también al grupo Navel, que se recolecta principalmente entre finales de invierno y la primavera. El fruto tiene una piel fina, un ombligo externo muy pequeño y discreto, y una pulpa de excelente calidad, caracterizada por un alto contenido de azúcares y una acidez muy equilibrada. Al carecer casi por completo de limonina, su zumo no se vuelve amargo rápidamente tras ser exprimido, lo que le otorga una gran versatilidad tanto para comer en fresco como para hacer jugo.

Las plantaciones fueron establecidas aproximadamente en el año 2000, por lo que actualmente presentan una edad cercana a los 26 años. Esta variedad ocupa una superficie aproximada de 2 hectáreas, en las cuales se encuentran establecidas alrededor de 800 plantas. El marco de plantación utilizado corresponde a 6 × 4 m, considerando una distancia de 6 metros entre hileras o camellones y de 4 metros entre plantas dentro de una misma hilera.

9.2.1.1.2. Fukumoto

Comúnmente llamada Fujimoto, pertenece al grupo de las naranjas Navel y se caracteriza por ser una de las más tempranas de la temporada, madurando en otoño e invierno. Su fruto es redondo, de tamaño medio a grande, y destaca visualmente por tener una corteza

de un color naranja rojizo muy intenso y brillante. Su pulpa es extremadamente tierna, jugosa y dulce, con una acidez muy baja y sin semillas, lo que la convierte en una de las mejores opciones del mercado para consumir fresca como naranja de mesa (para comer en gajos).

Se encuentra establecida en una superficie total aproximada de 3 hectáreas, distribuida en tres sectores con diferentes años de establecimiento. El primer sector presenta una edad aproximada de 15 años, mientras que los otros dos sectores tienen aproximadamente 8 y 7 años, respectivamente. En consecuencia, las plantaciones de esta variedad presentan una estructura de edades diferenciada dentro del predio. Los tres sectores utilizan un marco de plantación de 5 × 2,5 m, correspondiente a una distancia de 5 metros entre hileras o camellones y de 2,5 metros entre plantas dentro de cada hilera. Cada hectárea cuenta con aproximadamente 800 plantas lo que en su totalidad para la variedad Fujimoto hay aproximadamente 2400 plantas.

9.2.1.1.3. Valencia

Pertenece al grupo de las naranjas blancas (sin ombligo), es la reina indiscutible para jugos/zumos debido a su alto rendimientos de líquido y su sabor dulce con la acidez justa. La fruta se caracteriza por su piel más fina, forma ligeramente alargada y con un color un poco más claro. Es de cosecha tardía, fines de invierno, primavera e inclusos en algunos casos hasta en verano, lo que permite tener naranjas cuando las variedades Navel ya terminaron su temporada.

Se encuentra establecida en una superficie aproximada de 1 hectárea, con alrededor de 800 plantas. La plantación fue establecida aproximadamente hace 8 años, por lo que

presenta una edad cercana a dicha antigüedad. El sector utiliza un marco de plantación de 5 × 2,5 m, considerando una distancia de 5 metros entre hileras o camellones y de 2,5 metros entre plantas dentro de una misma hilera.

Tabla 1: Comparativa de Variedades de Naranja

Variedad	**Grupo**	**Época de Cosecha**	**Sabor y Características**	**Uso Principal**
Fukumoto	Navel (con ombligo)	Temprana (otoño/invierno)	Color naranja rojizo muy llamativo, dulce y muy jugosa.	Mesa
Lane Late	Navel (con ombligo)	Tardía (invierno a primavera)	Muy dulce, baja acidez, sin semillas y piel fina.	Mesa y zumo
Valencia	Blancas (sin ombligo)	La más tardía (primavera a verano)	Zumo abundante, acidez equilibrada que baja con el tiempo.	Zumo

Fuente: Elaboración propia

Actualmente, para mitigar los daños ocasionados por las heladas en el predio se utilizan métodos de protección de carácter pasivo, basados en la aplicación de productos líquidos destinados a reducir el efecto de las bajas temperaturas sobre las plantas. Sin embargo, de acuerdo con la información proporcionada por el propietario del predio, durante eventos de heladas de carácter extremo se han registrado pérdidas que pueden alcanzar aproximadamente un 40 % del rendimiento productivo. Esta situación evidencia la importancia de evaluar alternativas de protección que permitan disminuir el impacto de

eventos de bajas temperaturas sobre la producción de naranjos, especialmente durante aquellos episodios de mayor intensidad.

9.2.2. Análisis de las condiciones de helada

La caracterización histórica de las heladas constituye una etapa fundamental para determinar los requerimientos técnicos del sistema de protección propuesto, debido a que permite establecer la frecuencia, intensidad, duración y distribución temporal de los eventos de bajas temperaturas que podrían afectar al cultivo. Esta información resulta especialmente relevante para el dimensionamiento y posterior evaluación de las hélices antiheladas, dado que las condiciones de operación del sistema dependen directamente de la magnitud y duración de los descensos térmicos.

Para la caracterización histórica de las condiciones de heladas se utilizaron registros provenientes de una estación meteorológica ubicada en el sector de Las Cabras, seleccionada como referencia para aproximar las condiciones térmicas de la zona de estudio. Si bien la Dirección Meteorológica de Chile cuenta con una variedad de estaciones meteorológicas ubicadas en la Región del Libertador General Bernardo O´Higgins entre ellas una ubicada en la comuna de pichidegua esta fue creada recientemente (año 2023) por lo que en línea aún no se encuentran registros históricos de eventos climáticos por este motivo se toma como referencia la más cercana a la ubicación del campo agrícola.

A través de la página web de la Dirección Meteorológica de Chile se obtienen los datos históricos de las heladas ocurridas desde el año 2015 hasta la fecha, la cual contiene registros de eventos de bajas temperaturas con información correspondiente a la fecha del

evento, temperatura mínima absoluta, hora de ocurrencia de la temperatura mínima, horas con temperaturas inferiores a 0 °C y porcentaje de datos disponibles.

Tabla 2: Registro promedio de heladas periodo 2015-2026

Año	N° Heladas	Tmin mínima (°C)	Tmin promedio (°C)	Horas bajo 0 °C
2015	12	-2.10	-1.11	3.70
2016	10	-1.60	-0.84	2.92
2017	11	-4.00	-1.27	3.17
2018	29	-3.00	-1.44	9.09
2019	26	-2.40	-0.91	4.74
2020	6	-2.30	-1.17	4.80
2021	26	-4.40	-1.60	9.18
2022	15	-5.00	-1.14	3.51
2023	2	-1.90	-1.80	0.93
2024	25	-3.00	-1.24	7.63
2025	12	-3.80	-0.98	3.24
2026	21	-4.30	-2.10	7.83

Fuente: Elaboración propia a partir de reportes anuales de heladas obtenidos de la Dirección Meteorológica de Chile,

Tabla 3: Eventos de helada mensual registrados en el periodo 2015-2026

Mes	Nº eventos	Tmin mínima	Tmin promedio
Mayo	30	-5,0 °C	-1,40 °C
Junio	59	-4,0 °C	-1,41 °C
Julio	71	-4,4 °C	-1,50 °C
Agosto	31	-2,4 °C	-0,75 °C
Septiembre	4	-0,8 °C	-0,52 °C

Fuente: Elaboración propia a partir de reportes anuales de heladas obtenidos de la Dirección Meteorológica de Chile,

De acuerdo con los registros históricos utilizados en este estudio (Tabla 1) se establece que durante el periodo 2015-2026 se han registrado 195 eventos de heladas en la zona de interés, existe una variabilidad considerable en los registros de algunas temporadas, por ejemplo, en 2018 se llegaron a registrar 29 eventos mientras que en 2023 solo 2 eventos. Esto muestra que el problema no se caracteriza solamente por eventos extremadamente fríos,

sino que también hay una gran cantidad de eventos de intensidad moderada, y unos pocos eventos de intensidad alta. Es importante mencionar que a pesar de que en la pagina oficial no exista un registro completo de año 2023 en la estación Las Cabras, Rapel , dicho año estuvo marcado por heladas meteorológicas atípicas y extremas, condicionadas por la transición hacia el fenómeno de El Niño, a nivel global y regional, los eventos de frío invernal y primaveral provocaron importantes registros meteorológicos e impactos productivos

La Tabla 2 permite visualizar la distribución mensual de bajas temperaturas en donde se evidencia un comportamiento marcado, si bien en los meses de Mayo a Agosto en donde se registran más eventos de heladas, en los meses de Mayo, Junio y Julio es cuando se concentran los eventos más críticos pues se llegas a registrar temperaturas mínimas de hasta -5°C . Al analizar en detalle las horas bajo cero, cuando las temperaturas son más bajas es cuando generalmente coinciden con mayores tiempos bajo 0°C, de hecho, existe una correlación de aproximadamente −0,91 entre temperatura mínima y horas bajo 0 °C. Esto indica una relación fuerte: a medida que la temperatura mínima disminuye, aumenta el tiempo registrado bajo cero.

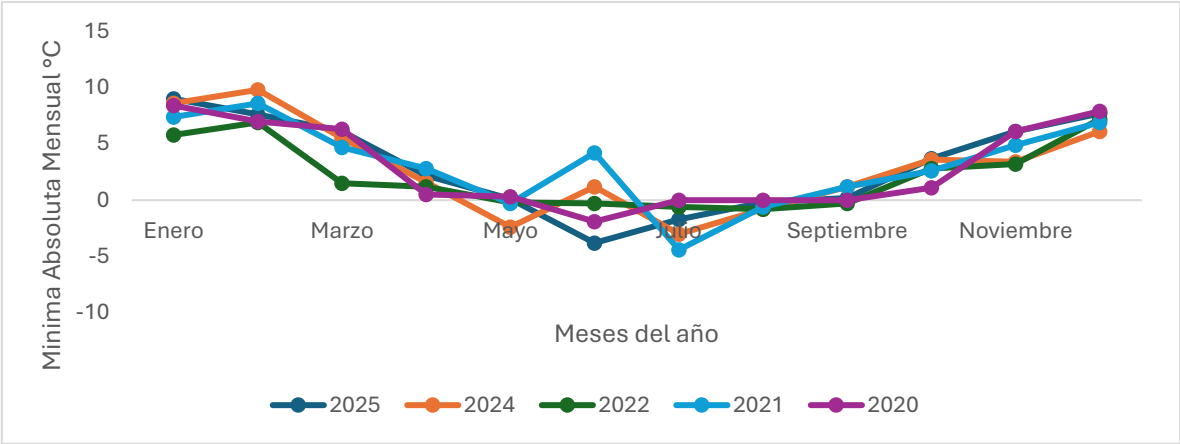


Gráfico 1: Mínima Absoluta Mensual Periodo 2020-2025

Para el análisis del gráfico 1 el año 2023 no se considera para el análisis debido a que en el anuario de temperatura mínima diaria, mensual y anual de la Dirección Meteorológica de Chile no cuenta con datos completos del año, solo de los meses de enero y febrero, por este motivo se deja fuera del análisis.

En términos generales, se observa un comportamiento estacional claramente definido. Durante los meses de enero y febrero las temperaturas mínimas absolutas se mantienen en valores positivos y relativamente elevados, con valores promedio de aproximadamente 7,84 °C y 7,98 °C, respectivamente, considerando los años disponibles en la serie. A partir de marzo se observa una disminución progresiva de las temperaturas mínimas, alcanzando un promedio aproximado de 4,82 °C, mientras que en abril el promedio disminuye hasta aproximadamente 1,66 °C.

La condición térmica cambia durante mayo, mes en que la temperatura mínima absoluta promedio de los años analizados alcanza aproximadamente -0,50 °C. Este comportamiento indica el inicio del período en que las temperaturas pueden situarse bajo el punto de congelación. La situación se intensifica durante junio y, especialmente, durante

julio. Para los datos disponibles, julio presenta una temperatura mínima absoluta promedio cercana a -2,43 °C, constituyéndose en el mes con las condiciones térmicas más restrictivas de la serie analizada.

El comportamiento observado durante julio resulta particularmente relevante para el cultivo de naranjos. Considerando que en este estudio se ha establecido como referencia que los daños en cítricos pueden comenzar aproximadamente desde -1,4 °C, los valores registrados durante este mes muestran que determinados eventos pueden alcanzar temperaturas compatibles con un riesgo significativo de daño fisiológico. En la serie analizada, julio registra valores de -4,4 °C en 2021, -3,0 °C en 2024 y -1,7 °C en 2025. Por lo tanto, además de presentar una alta frecuencia histórica de heladas, este mes concentra algunos de los descensos térmicos más importantes observados.

Por su lado durante el mes de Agosto mantiene condiciones de riesgo, aunque con una intensidad menor respecto de julio. En los años con información disponible, las temperaturas mínimas absolutas se mantienen cercanas o inferiores a 0 °C, alcanzando -0,8 °C en 2022 y 2024. Esto permite identificar a agosto como un mes de transición, en el cual todavía pueden producirse condiciones de helada, pero con una intensidad generalmente menor que la observada durante junio y julio.

El análisis conjunto de la frecuencia de eventos y de las temperaturas mínimas permite identificar a los meses comprendidos entre mayo y agosto como el principal período de riesgo para la plantación estudiada, con especial relevancia durante junio y julio. Esta condición es técnicamente importante para la evaluación de un sistema de protección mediante hélices antiheladas, debido a que su funcionamiento debe estar orientado principalmente a aquellos episodios en que las temperaturas descienden hasta niveles capaces de generar daño en los tejidos vegetales. Asimismo, los antecedentes permiten diferenciar

entre la frecuencia y la intensidad del fenómeno. Un mes puede presentar numerosos eventos de helada sin que todos ellos alcancen temperaturas extremadamente bajas, mientras que un evento aislado puede presentar una intensidad suficiente para generar un daño considerable.

9.2.3. Selección de tecnología

Una vez caracterizadas las condiciones de heladas presentes en el área de estudio, resulta necesario determinar la tecnología de protección que permita reducir los efectos asociados a las bajas temperaturas sobre el cultivo. La selección de esta tecnología constituye un aspecto relevante dentro del estudio técnico, debido a que las características y requerimientos del sistema de protección determinarán tanto la capacidad de respuesta frente a los eventos de heladas como los requerimientos de infraestructura, energía, operación y mantenimiento del proyecto.

La elección de la tecnología debe considerar las condiciones climáticas identificadas en el área de estudio, particularmente la frecuencia de ocurrencia de las heladas, sus temperaturas mínimas, duración y comportamiento durante los eventos. Asimismo, deben considerarse las características productivas y físicas del área que se pretende proteger, tales como la superficie cultivada, distribución del cultivo y disponibilidad de infraestructura para la implementación y operación del sistema. En particular, los antecedentes analizados muestran que las heladas se concentran principalmente entre los meses de mayo y agosto, presentándose los eventos de mayor intensidad durante junio y julio. Esta situación hace

necesario disponer de un sistema que pueda actuar durante las horas de mayor riesgo y que sea capaz de proteger una superficie significativa del huerto.

Considerando las características del predio estudiado, la superficie destinada al cultivo de naranjos que se busca proteger corresponde aproximadamente a 6 hectáreas. Debido a esta superficie y a la necesidad de contar con una alternativa de protección activa frente a eventos de heladas, se considera la utilización de máquinas de viento antiheladas, tecnología que permite movilizar las capas de aire presentes sobre el cultivo y favorecer la mezcla del aire más cálido ubicado a mayor altura con el aire frío acumulado próximo a la superficie del suelo.

La preselección de alternativas se realizó considerando fabricantes con gran presencia en el mercado chileno como es el caso de Zimex Smart Agro. En función de las necesidades que abarca este proyecto es que se consideran 3 grandes modelos de hélices portátiles para el control de heladas.

Tabla 4: Comparativa modelos hélices portátil

Modelo	**Tow & Blow TBB 220**	**Tow & Blow 250 H**	**Tow & Blow 650 H**
Motor - Potencia	Honda 22 Hp- 2 Cilindros	Kohler 23.7 Hp – 3 Cilindros	Kohler 64.6 Hp – 4 Cilindros
Combustible	Bencina	Diesel	Diesel
Capacidad Estanque	60 Litros	60 Litros	180 Litros
Autonomía	10 hr	10 hr	10 hr
Cobertura	3 a 4 Hectáreas	4 a 5 Hectáreas	5 a 6.5 Hectáreas

Velocidad Viento	60 Km/h	80 Km/h	130 Km/h
Encendido	Mecánico – Manual	Automático – Táctil	Automático – Táctil
Niveles de Altura	3	3	3
Material Hélice	Acero Fundido	Polímero Alta densidad	Polímero Alta densidad
Propulsor	8 Aspas	5 Aspas	5 Aspas
Cubierta	60 cm	70 cm	80 cm

Fuente: Elaboración propia en base a fichas técnicas proporcionada por Zimex

A partir de la comparación de las alternativas tecnológicas disponibles, se determinó descartar el modelo Tow & Blow TBB 220 para continuar con la evaluación de los modelos Tow & Blow 250 H y Tow & Blow 650 H. Esta decisión se fundamenta principalmente en las diferencias existentes en términos de superficie de cobertura, capacidad de movimiento de aire y nivel de automatización del sistema.

En primer lugar, la TBB 220 presenta una superficie de cobertura indicada de 3 a 4 hectáreas, inferior a las 4 a 5 hectáreas correspondientes al modelo 250 H y a las 5 a 6,5 hectáreas del modelo 650 H. Esta diferencia constituye un factor relevante para el dimensionamiento del sistema, debido a que el terreno en estudio cuenta con aproximadamente 6 hectáreas por lo que este modelo implicaría otra unidad para proteger la superficie lo que se traduce en una incrementación de costos, requerimientos de infraestructura y operación del sistema.

Otro elemento diferenciador muy importante corresponde al sistema de encendido. Mientras que la TBB 220 dispone de un sistema mecánico-manual, los modelos 250 H y 650 H incorporan un sistema de encendido automático mediante interfaz táctil. Para el presente proyecto, la posibilidad de automatizar la activación del sistema constituye una característica de interés, debido a que permite reducir la dependencia de la intervención directa del operador durante los eventos de helada y facilita la integración con sistemas de monitoreo y control de temperatura, de acuerdo con la configuración disponible para cada equipo. Este modelo al ser mecánico-Manual tiene 100% de dependencia del dueño, las heladas son imprevistas en cuanto a su duración y momento en que comienzan, por lo que se debería implementar un sistema de automatización para prevenir al dueño al momento de que suceda un evento de helada, lo que a su vez se traduce en mayor inversión, y de igual manera el dueño deberá asistir de manera presencial al predio agrícola para el encendido del equipo y posteriormente al apagado de este.

En consecuencia, el descarte de la TBB 220 se fundamenta principalmente en su menor capacidad de cobertura y menor nivel de automatización respecto de las alternativas consideradas. Si bien la TBB 220 constituye una alternativa técnicamente disponible para la protección contra heladas, sus características presentan una menor correspondencia con los requerimientos establecidos para el proyecto. Por este motivo, se considera pertinente continuar el proceso de selección entre los modelos Tow & Blow 250 H y Tow & Blow 650 H.

Tabla 5: Alcance nominal de las Hélices control heladas Tow & Blow

	Rotación		Oscilación	
Modelo	Área		A 180°	A 90°

		Radio a 360° máximo	Al costado	De frente	Al costado	De frente
250 H	4 a 5 hec	126 m	100	230	160	280
650 H	5 a 6,5 hec	144 m	115	260	215	320

Fuente: Elaboración propia en base a fichas técnicas proporcionada por Zimex



Figura 13: Esquema alcance nominal de las Hélices control heladas Tow & Blow

Para una superficie productiva aproximada de 6 hectáreas de naranjos, la capacidad de cobertura constituye un factor relevante en la selección del equipo. De acuerdo con las especificaciones técnicas disponibles, el modelo Tow & Blow 250 H presenta una cobertura nominal de 4 a 5 hectáreas, mientras que el modelo Tow & Blow 650 H presenta una cobertura de 5 a 6,5 hectáreas. Adicionalmente, bajo una configuración de oscilación de 180°, las superficies aproximadas de cobertura informadas corresponden a 4,8 hectáreas para el modelo 250 H y 6 hectáreas para el modelo 650 H. En consecuencia, el modelo 650 H presenta una capacidad nominal que permite cubrir una superficie equivalente a la totalidad del área objetivo bajo dicha configuración, mientras que el modelo 250 H requeriría complementar su cobertura mediante una segunda unidad.

Tabla 6: Valores equipos TBD

Modelo	Precio equipo nuevo	Precio arriendo mensual
TBD 250 H	USD 45.500	USD 7.000
TBD 650 H	USD 55.500	USD 8.000

Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes comerciales proporcionados por el Gerente Técnico – comercial de Zimex, el señor Jorge Dutrey Ossa.

En función de la superficie considerada en el presente estudio, correspondiente a aproximadamente 6 hectáreas, el modelo TBD 650 H presenta una cobertura referencial de hasta 5–6 hectáreas, por lo que constituye la alternativa que permite aproximarse a la protección de la totalidad de la superficie mediante una sola unidad. En cambio, el modelo TBD 250 H presenta una cobertura de 4–5 hectáreas, por lo que no permitiría cubrir completamente la superficie objetivo con una sola unidad.

La diferencia de precio entre ambas alternativas es de USD 10.000, mientras que la diferencia en cobertura máxima referencial alcanza aproximadamente una hectárea. Por lo tanto, la selección del modelo no debe considerar únicamente el valor de adquisición, sino también la superficie que puede proteger cada equipo y la necesidad de cubrir la totalidad del área definida para el proyecto.

Para efectos del análisis económico que se realizara más adelante, además del costo inicial de adquisición, se debe considerar el costo de mantenimiento anual informado por el proveedor, correspondiente a USD 400 por equipo. Este costo representa un gasto de operación y mantenimiento que deberá incorporarse durante el horizonte de evaluación del proyecto.

Otra alternativa considerada corresponde al arrendamiento de los equipos, debido a su condición de activo móvil. Según los antecedentes entregados por el proveedor, el costo de arriendo se encuentra entre USD 7.000 y USD 8.000 mensuales durante el período comprendido entre mayo y octubre para el modelo TBD 250 H Y TBD650 H respectivamente. Esta modalidad permite disponer del equipo durante los meses de mayor riesgo de heladas sin efectuar la inversión inicial asociada a la compra del activo. Para un período de seis meses, el costo referencial del arriendo correspondería a un rango de USD 42.000 a USD 48.000 por temporada,

Para la superficie objetivo de aproximadamente 6 hectáreas, el análisis técnico se centrará principalmente en un inicio en el modelo TBD 650 H, debido a que su cobertura referencial de 5–6 hectáreas se aproximan a la totalidad del área que se busca proteger. Posteriormente, el modelo TBD 250 H se mantendrá como alternativa de referencia para evaluar el escenarios de la utilización de dos unidades.

Finalmente, la selección definitiva de la alternativa tecnológica no se realizará únicamente en función del precio de adquisición, sino considerando conjuntamente la cobertura efectiva, la superficie a proteger, la frecuencia e intensidad de las heladas, los costos de operación y mantenimiento y la modalidad de financiamiento. Estos antecedentes serán utilizados posteriormente para desarrollar la evaluación económica y determinar la conveniencia de implementar la tecnología de protección contra heladas en el predio estudiado.

9.2.3.1. Tow And Blow

El diseño único de este ventilador ofrece una protección eficaz contra heladas para todo tipo de cultivos, incluso aquellos cultivados en valles o colinas. La posibilidad de inclinar el propulsor del Tow and Blow y de generar oscilación horizontal de la cabeza del ventilador permite una versatilidad de maniobra excepcional que distingue a esta máquina de otros ventiladores tradicionales.

La hélice portátil cuenta con una conexión inteligente, un sistema telementry que permite monitorear su máquina de viento de manera remota desde su computadora o teléfono, y adicionalmente iniciar, detener y cambiar entre las modalidades.



Figura 14: Componentes de una TBD 650H

La TBD 650H presenta un diseño aerodinámico de la cubierta que maximiza la capacidad de flujo de aire. Esta característica permite que el aire cargue el impulso de manera efectiva, favoreciendo un funcionamiento similar al de un motor a reacción y contribuyendo a mejorar el rendimiento general del equipo.

Asimismo, cuenta con un sistema de energía directa al ventilador. Este funciona mediante un motor diésel de tres cilindros, con una potencia de 65 caballos de fuerza, que transmite directamente la energía al ventilador a través de ejes de transmisión angulares. De este modo, se elimina la pérdida de potencia asociada a otros sistemas de transmisión y se optimiza el funcionamiento del ventilador.

El equipo incorpora un ventilador de cinco aspas, fabricado con una poliamida reforzada con vidrio. Este material proporciona resistencia y durabilidad a la estructura del ventilador. Además, su rendimiento ha sido comprobado de acuerdo con estándares reconocidos a nivel mundial, lo que respalda su eficiencia y confiabilidad operativa.

Por su lado, el modelo 250H incorpora un motor ubicado detrás de la hélice de cinco aspas, a una altura aproximada de ocho metros. Esta configuración permite que la potencia generada por el motor se destine principalmente a la propulsión del aire, aprovechando hasta un 95% de la energía disponible para generar el impulso de viento.

Asimismo, el anillo o tobera que rodea la hélice concentra y dirige el flujo de aire hacia adelante, funcionando de manera similar a una turbina. De este modo, el equipo succiona aire desde alturas de entre 10 y 12 metros y lo impulsa hacia el nivel del suelo, mediante un ángulo de ataque variable de entre 2° y 8°.

El equipo dispone de un estanque de combustible diésel de 60 litros, que proporciona una autonomía de hasta 12 horas. En condiciones de operación a máxima potencia, el consumo estimado es de 5 litros por hora.

Bajo condiciones de helada radiativa, la hélice posee una cobertura estimada de entre 4 y 5 hectáreas, dependiendo de la altura del cultivo y de las características de la capa de inversión térmica. Esta cobertura se explica por la capacidad del equipo para incorporar aire más cálido desde niveles superiores y distribuirlo hacia la zona cercana al suelo. El flujo de aire impulsado alcanza una velocidad de 22 metros por segundo, equivalente a 80 km/h.

Otra de sus características de ambos modelos es el ascensor hidráulico, que permite ajustar la máquina en tres posiciones de altura. Esta función posibilita trabajar a diferentes niveles según las necesidades de la operación, permitiendo alcanzar alturas más bajas o más elevadas. Por esta razón, el equipo resulta especialmente adecuado para su utilización en terrenos con valles y colinas.

La máquina también dispone de controles de fácil uso. La función de encendido automático permite que el equipo se encienda y se apague de acuerdo con la temperatura registrada. Tanto el ventilador como el mecanismo de oscilación de la torre se activan cuando se detecta una temperatura mínima previamente establecida. Posteriormente, ambos sistemas se apagan automáticamente una vez que se alcanza la temperatura máxima programada.

Finalmente, el equipo está diseñado para facilitar su transporte. Una vez ubicado en el lugar de trabajo, se bajan los pies de apoyo del estabilizador y la máquina se nivela automáticamente para comenzar a funcionar. Esta característica permite agilizar la instalación, mejorar la estabilidad del equipo y facilitar su utilización en distintas superficies y condiciones de terreno.

9.2.4. Distribución de las hélices

Inicialmente como se mencionó con anterioridad se evalúa la utilización de una hélice modelo 650H pues esta según sus características abarca las 6 hectáreas que posee el predio. Se simula con ayuda de la herramienta Google Earth la cobertura abarcada por una maquina en distintas ubicaciones del predio agrícola.

Recordando que este modelo al ser utilizado a 360° abarca en un radio de 144 metros, a partir de esta simulación se obtuvieron los siguientes resultados.



Figura 15: Modelo 650H, ubicación latitud -34.2853095, longitud -71.3627393, altitud 121.5245604



Figura 16:Modelo 650H, ubicación latitud -34.2856533, longitud -71.3630645, altitud 122.1430599



Figura 17: Modelo 650H, ubicación latitud -34.2861955, longitud -71.3629922, altitud 123.2231129

Si bien la simulación muestra que el radio cubre una superficie aproximada de 62440 metros cuadrados, estos no son efectivamente en donde se encuentra el naranjo, en la primera y segunda opción son aproximadamente 2 hectáreas sin cubrir equivalente a un 33% del total y en la tercera opción son 3 hectáreas las afectadas, equivalente al 50%, con esto queda demostrado que una sola maquina 650h en modalidad 360 ° no es suficiente para proteger las naranjas de las heladas, sin embargo, este modelo también se puede utilizar a 180° por ende de igual modo se evalúa esta opción.



Figura 18: Modelo 650 h a 180° ubicación latitud -34.2877345, longitud -71.3622499



Figura 19: Modelo 650 h a 180° ubicación latitud -34.2847903, longitud -71.3632671

Al evaluar este método de uso, al igual que en el caso anterior una sola maquina 650H no es suficiente, pues en la figura 18 quedan casi 3 hectáreas de cultivo sin proteger y en el caso de la figura 19 son 2.3 hectáreas sin proteger. Sin duda al utilizar a 180° es menor la superficie cubierta que no es de interés que en el caso de 360° que es mucho mayor, lo que implicaría estar trabajando en vano en esos sectores que no pertenecen al área del estudio que contiene plantas de naranjos. En base a estas demostraciones queda establecido que a pesar de la cobertura de 6 hectáreas que ofrece el modelo 650H por las dimensiones del terreno agrícola una sola maquina no satisface las necesidades de la problemática que se está evaluando en el presente estudio.

Continuando con el análisis se evalúa la opción de contar con dos maquinas del modelo 250 H que en su forma de operar es prácticamente igual al modelo 650H a excepción del área de cobertura, que en este modelo es de aproximadamente 4-5 hectáreas con una cobertura a 360° de radio de 126 metros.



Figura 20: Modelo 250 H, ubicación de dos hélices a 360°

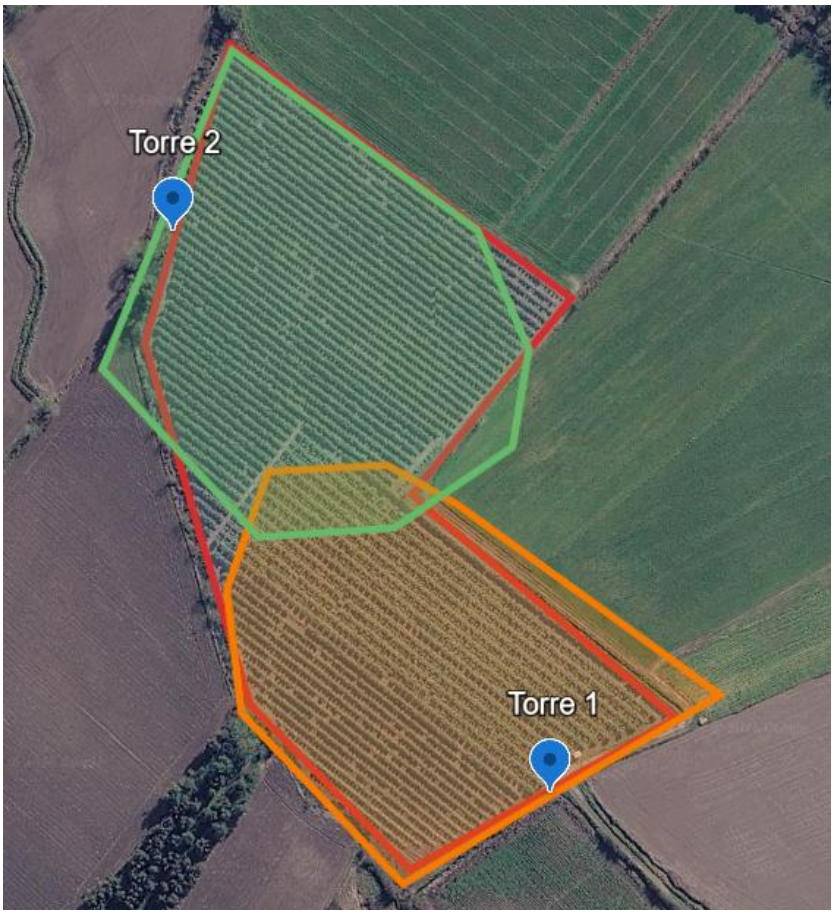


Figura 21: Modelo 250 H, ubicación de dos hélices a 180°

La figura 20 muestra la simulación de la instalación de dos torres, la primera ubicada a latitud -34.2852853 longitud -71.3637778 y la segunda torre a latitud -34.2872498 longitud -71.3632851, donde se puede observar que queda cubierto prácticamente el 100% de la plantación, el área que no se alcanza a cubrir son aproximadamente 400 metros cuadrados lo que solo equivale a un 0.6% del total de la superficie de interés por ende esta ubicación es la ideal para usarse en este estudio. La figura 21 muestra la simulación de la maquina a 180° donde el área sin cubrir es de aproximadamente 1878 metros cuadrados lo que equivale a un 3,13% del área de estudio, por lo tanto, la mejor opción es utilizar ambas torres a 360 ° para minimizar el área no cubierta y a su vez los efectos de las heladas.

Tabla 7: Tabla comparativa simulación Hélices.

Alternativa simulada	Superficie real cubierta	Superficie real no cubierta	Cobertura del huerto	Superficie sin protección
1 hélice 650 H, 360°, ubicación figura 15	4,0 ha	2,0 ha	66,7%	33,3%
1 hélice 650 H, 360°, ubicación figura 16	4,0 ha	2,0 ha	66,7%	33,3%
1 hélice 650 H, 360°, ubicación figura 17	3,0 ha	3,0 ha	50,0%	50,0%
1 hélice 650 H, 180°, ubicación figura 18	≈ 3,0 ha	≈ 3,0 ha	≈ 50,0%	≈ 50,0%
1 hélice 650 H, 180°, ubicación figura 19	3,7 ha	2,3 ha	61,7%	38,3%
2 hélices 250 H, 360°, figura 20	5,96 ha	0,04 ha	99,3%	0,7%
2 hélices 250 H, 180°, figura 21	5,8122 ha	0,1878 ha	96,87%	3,13%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que la superficie nominal de cobertura indicada por el fabricante no garantiza la protección efectiva de la plantación. Aunque una hélice 650 H presenta una capacidad nominal cercana a las 6 ha, las simulaciones evidencian que su ubicación y el funcionamiento a 180° o 360° condicionan la cantidad de naranjos protegidos. En las ubicaciones evaluadas, una sola unidad deja sin cobertura entre aproximadamente 2 y 3 ha del huerto.

Por otra parte, la configuración de dos hélices 250 H operando a 360° presenta el mejor resultado espacial entre las alternativas evaluadas: deja aproximadamente 400 m² sin cubrir, equivalentes al 0,7% de la superficie productiva. La operación a 180° también logra una cobertura elevada, de 96,87%, aunque deja sin proteger 1.878 m².

En consecuencia, desde el punto de vista de la distribución espacial, la configuración de dos hélices 250 H a 360° es la alternativa mejor posicionada de acuerdo con las simulaciones realizadas.

Una vez seleccionada la ubicación ideal de las hélices portátil es necesario establecer las condiciones de funcionamiento, la función de encendido automático permite el encendido y apagado de la energía en función de la temperatura. Tanto el ventilador como la oscilación de la torre se encienden cuando se detecta la temperatura mínima preestablecida, y se apagan cuando se alcanza la máxima temperatura preestablecida. En base a la información entregada en la figura uno se tiene conocimiento que un daño significativo en cultivos cítricos se puede dar desde los -1.4°C o incluso antes como es en el caso se la naranja tipo Valencia el cual tiene un ciclo extremadamente largo, por lo que conviven en el árbol la fruta madura de la temporada actual y la floración o cuajado de la temporada siguiente. Las flores y los pequeños frutos recién cuajados mueren rápidamente a los -1.1 °C, es por esto que se establece el encendido automático cuando el termómetro marque los 1°C para asegurar que el aire empiece a circular antes del congelamiento lo que a su vez también permite que el equipo tenga un calentamiento previo del motor, lo que facilita un correcto funcionamiento por un tiempo prolongado. El equipo se mantendrá funcionando continuo durante toda la madrugada hasta que la temperatura ambiente supere de manera estable los 2.5 °C lo cual asegura que el hielo acumulado o la escarcha se haya disipado por completo del fruto y las hojas.

En caso de que se desee apagar antes o volver a encender, se cuenta con un sistema de telementry que permite monitorear y realizar estas acciones de manera remota desde un computador o desde el teléfono celular, también cuenta con un sistema GPS que permite verificar la ubicación en todo momento.

Tabla 8: Parámetros de funcionamiento Hélice 250 H.

Parámetro	Temperatura propuesta	Función	Criterio
Encendido automático	1°C	Activar preventivamente el equipo cuando la temperatura desciende hacia el umbral de riesgo.	Definido mediante la temperatura crítica del cultivo y un margen preventivo
Apagado automático	2.5°C	Detener el equipo cuando la temperatura se recupera y las condiciones de riesgo han disminuido.	Definido según la recuperación térmica y el riesgo de una nueva caída

Fuente: Elaboración propia

9.3. Evaluación Económica

La evaluación económica tiene como objetivo determinar la viabilidad de implementar un sistema de protección contra heladas mediante hélices antiheladas en la plantación de naranjos analizada. Para ello, se consideran los costos asociados a la adquisición del equipo, mantenimiento y operación, junto con los beneficios económicos potenciales derivados de la disminución de las pérdidas de producción ocasionadas por las heladas.

El análisis se desarrolla utilizando una conversión de 1 USD a 973.51 CLP, en base al valor reportado al 29 de septiembre del presente año. El horizonte de evaluación es de 10 años, asociado a la vida útil esperada del equipo.

9.3.1. Inversión Inicial

La inversión inicial corresponde al desembolso necesario para disponer del sistema de protección contra heladas. Para efectos de la evaluación económica de la superficie completa del predio, se considera como alternativa principal la adquisición de dos equipos TBD 250 H, cuyo valor de referencia es de USD 45.500 por unidad.

$$I_{Equipo} = 91.000x\ 973{,}51$$

$$I_{Equipo} = \$88.589.410$$

También se considera el trasporte y puesta en terreno. Considerando la sucursal que se encuentra en Rancagua, Región de O´Higgins. En un vehículo particular la ruta tiene una distancia aproximadamente de 94.3 km, considerando unos $40.000 pesos en combustible y otros $5.000 pesos en peajes ida y vuelta. Se deben considerar dos traslados por ente se estima el costo de transporte en $90.000 pesos

No se consideran gastos de instalación puesto que es un equipo móvil que no necesita de una instalación fija, solo se desplazan los pies de apoyo del estabilizador y la máquina se nivela para comenzar a funcionar.

9.3.2. Costos de operación y mantenimiento

Según los antecedentes proporcionados por el proveedor, el costo de mantenimiento anual corresponde aproximadamente a USD 400 por equipo.

$$C_{Mant} = 800\ x\ 973.51$$

$$C_{Mant} = \$778.808/año$$

Para los costos de operación se considera:

- Consumo estimado: 5 litros/hora.
- Autonomía: alrededor de 7 horas funcionando
- Combustible diésel: $1.300 por litro
- Eventos por temporada: 10
- Consumo estimado por temporada: 70 horas de operación por equipo , alrededor de 700 litros de petróleo en total para proteger las 6 hectáreas considerando dos equipos.

$$C_{Comb} = 700 * \$1.300$$

$$C_{Comb} = \$910.000$$

Por lo tanto, el costo anual asciende a la suma de $1.688.808 pesos.

9.3.3. Ingresos

Los ingresos que este proyecto puede generar se estiman a partir de la producción que entre el campo agrícola. Según registros del dueño del predio el maneja los ingresos mediante la venta de bines de naranjas.

Si bien la producción es variable según registros en promedio por cada hectárea se obtienen de 90 a 100 bines de naranjas, donde cada uno de estos hace aproximadamente 400 kilos de naranjas, lo que equivale a un aproximado de 40.000 kilos, es decir, 40 toneladas de naranjas por hectárea.

El valor unitario por bin, varía según comprador y variedad, sin embargo, según registros del dueño este valor puede ir de los $90.000 pesos a los $140.000 pesos.

Para la evaluación de ingresos del proyecto, se consideran dos escenarios alternativos que permiten analizar el comportamiento de los ingresos generados por la producción de naranjas durante el horizonte de evaluación. Ambos escenarios se diferencian según los supuestos establecidos respecto de la evolución de los niveles de producción y los precios de venta, con el propósito de evaluar distintas condiciones de funcionamiento económico del proyecto.

El primer escenario considera que tanto el volumen de producción como el precio de venta de las naranjas se mantienen constantes durante todo el horizonte de evaluación. Bajo este supuesto, los ingresos anuales presentan un comportamiento estable, lo que permite establecer un escenario de referencia para la evaluación económica del proyecto y facilitar la comparación con otras alternativas.

Mientras que el segundo escenario contempla variaciones en los niveles de producción y en los precios de venta a lo largo del horizonte de evaluación. De esta manera, se busca representar de forma más dinámica las posibles fluctuaciones que pueden afectar los ingresos del proyecto, considerando que tanto el rendimiento productivo del huerto como las condiciones del mercado pueden experimentar cambios entre períodos.

A partir de ambos escenarios, se calcularán los ingresos anuales proyectados mediante la relación entre el volumen de producción estimado y el precio de venta correspondiente a cada período. Los resultados permitirán comparar el comportamiento de los ingresos bajo supuestos de estabilidad y variabilidad, constituyendo una base para el posterior análisis económico y financiero del proyecto.

9.3.3.1. Producción y precios constantes

Para la estimación de los ingresos bajo el primer escenario, se utilizarán los antecedentes proporcionados por el propietario del predio agrícola ubicado en Pataguas Orillas, comuna de Pichidegua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. En este caso, se supondrá que tanto la producción como el precio de venta se mantienen constantes durante todo el horizonte de evaluación.

De acuerdo con la información entregada por el propietario, se establecerá una producción promedio de 95 bins por hectárea, considerando un precio de venta de $125.000 por bin. A partir de estos parámetros, se calcularán los ingresos brutos anuales estimados para la superficie total del proyecto, correspondiente a 6 hectáreas de naranjos.

Para efectos de cálculos, la producción estimada es:

$$Q = 6\ ha\ x\ 95\ bins/ha$$

$$Q = 570\ bins$$

Los ingresos anuales:

$$IB = 570 * \$125.000$$

$$IB = \$71.250.000$$

Si una helada extrema puede provocar una pérdida de 40%, el valor económico potencialmente expuesto sería:

$$P_{Helada} = \$71.250.000 * 40\%$$

$$P_{Helada} = \$28.500.000$$

La idea central es que la hélice no genera ingresos adicionales por sí misma, sino que permite recuperar parte de la producción que se perdería como consecuencia de una helada. Por lo tanto, el beneficio económico corresponde al valor de esa producción recuperada. Se adopta como escenario base que la TBD 250H evita el 85% del daño provocado por la helada, resultando:

$$B = \$28.500.000 * 85\%$$

$$B = \$24.225.000$$

Este monto representa el beneficio económico bruto por pérdidas evitadas anual, no un ingreso por venta adicional independiente. En consecuencia, en el flujo de caja debe registrarse como beneficio incremental del proyecto.

9.3.3.2. Producción y precios variables

Se considera una proyección variable de la producción y de los precios de venta durante el horizonte de evaluación del proyecto. Como punto de partida, se utilizarán los datos reales de producción y los precios de venta registrados durante el año 2026, los cuales constituirán la base para estimar el comportamiento futuro de los ingresos del campo de naranjos.

A partir de este año base, se supondrá una disminución progresiva del 3% de la producción a lo largo del horizonte de evaluación, considerando que el envejecimiento de los árboles podría afectar su rendimiento productivo con el paso del tiempo. Asimismo, se incorporará una reducción gradual del precio de venta por bin del 0,5%, con el propósito de representar un escenario económico conservador en el que el valor comercial de la fruta también experimenta una tendencia decreciente.

Sobre la base de estas proyecciones, se calcula los ingresos brutos anuales correspondientes a cada período y, posteriormente, se determinará el beneficio económico atribuible a la implementación de la hélice TBD 250 H. Para ello, se mantendrán los supuestos definidos previamente respecto de las pérdidas ocasionadas por heladas extremas, estimadas en un 40% de la producción, y de la capacidad de la tecnología para evitar el 85% del daño provocado por este fenómeno. De esta manera, será posible evaluar cómo la evolución de la producción y de los precios influye en los beneficios económicos de la protección antiheladas y en la rentabilidad del proyecto durante el horizonte de evaluación.

La valorización de ingresos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Ingresos_t = B_P \; x \; P_B$$

Donde:

- $Ingresos_t$, equivale a los ingresos por venta de bin de naranja en el año t, expresados en pesos chilenos (CLP)
- B_P, equivale a la producción obtenida en la temporada, expresados en bines.
- P_B, equivale al precio unitario por cada bin, expresado en pesos chilenos (CLP)

La valorización de las pérdidas generadas por una helada extrema, el valor económico potencialmente se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_{Helada} = Ingresos_t \; x \; \%_{perdida}$$

Donde:

- P_{Helada}, corresponde a las perdidas generadas por eventos de helada, expresados en pesos chilenos (CLP)
- $Ingresos_t$, corresponde a los ingresos por venta de bin de naranja en el año t, expresados en pesos chilenos (CLP)
- $\%_{perdida}$, corresponde al porcentaje de perdidas estimados en un evento de helada extrema, se considera un 40%

La valorización de los beneficios obtenidos corresponde al valor de la producción recuperada al tener las hélices implementadas, el cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$B = P_{Helada}\ x\ \%_{daño\ evitado}$$

Donde:

- B, corresponde al beneficio obtenido, expresados en pesos chilenos (CLP)
- P_{Helada} , corresponde a las pérdidas generadas por eventos de helada, expresados en pesos chilenos (CLP)
- $\%_{daño\ evitado}$, corresponde al porcentaje de daño evitado por eventos de heladas extremas, se adopta como escenario base que la TBD 250H evita el 85% del daño provocado por la helada,

A partir de estos cálculos, se detalla en la Tabla 8 el resumen de los resultados obtenidos para el horizonte de evaluación.

Tabla 9: Estimación de ingreso horizonte temporal 10 años

Año	Precio venta x bin	Producción [bin]	Ingresos	Perdida del 40%	Helada evitada en un 85%

1	$140.000	656	$91.840.000	$36.736.000	$31.225.600
2	$139.300	636	$88.639.376	$35.455.750	$30.137.388
3	$138.604	617	$85.550.294	$34.220.117	$29.087.100
4	$137.910	599	$82.568.866	$33.027.546	$28.073.414
5	$137.221	581	$79.691.341	$31.876.536	$27.095.056
6	$136.535	563	$76.914.098	$30.765.639	$26.150.793
7	$135.852	546	$74.233.641	$29.693.457	$25.239.438
8	$135.173	530	$71.646.599	$28.658.640	$24.359.844
9	$134.497	514	$69.149.715	$27.659.886	$23.510.903
10	$ 133.825	499	$66.739.848	$26.695.939	$22.691.548

Fuente: Elaboración propia

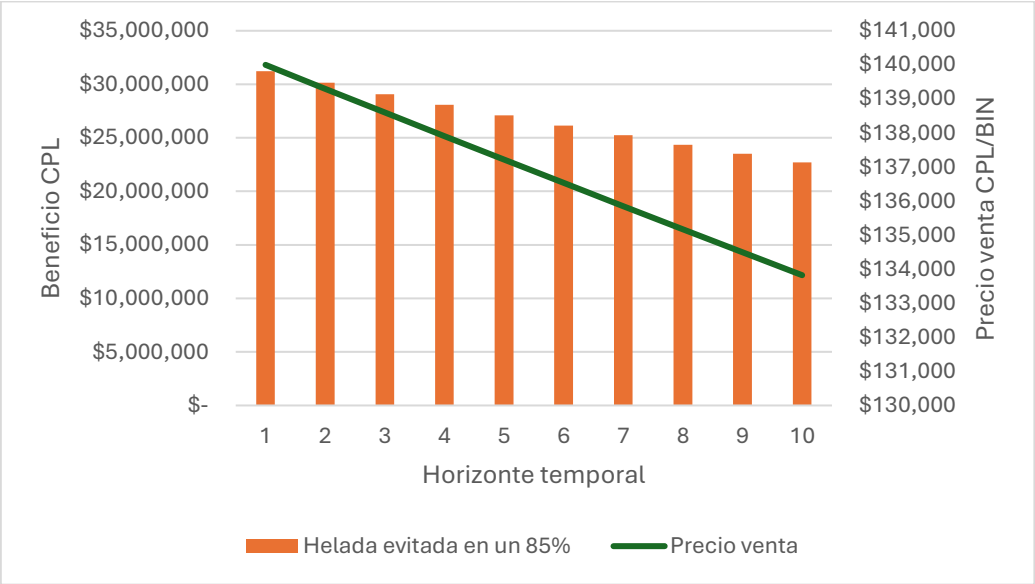


Figura 22: Proyección de beneficios generados y precio de venta

De manera complementaria a la Tabla 8 se tiene a la figura 22, representativa de la evolución anual de los beneficios proyectados considerando dos hélices TBD 250 H en funcionamiento durante los eventos de heladas, con un 85% de daño evitado en el campo agrícola. Esta figura permite visualizar de manera grafica la disminución progresiva durante los 10 años de evaluación económica del proyecto.

La figura 22 además muestra de manera complementaria la trayectoria decreciente del precio de venta unitario anual, el cual responde al criterio adaptado donde se incorpora una disminución anual del 0,5 % en el precio de venta. Por lo tanto, la reducción de los beneficios se explica por este factor en combinación un decaimiento en la producción del 3% anual.

El comportamiento del beneficio obtenido permite visualizar que es sensible no solo al desempeño del campo agrícola sino también a la evolución del precio y método de venta, evitando sobreestimar los flujos futuros de beneficios puesto que se asume variabilidad, es decir que las condiciones de valorización del primer año no se mantendrán constante durante los 10 años.

9.3.3.3. Comparación de escenarios

Una vez estimados los ingresos bajo los dos escenarios, se comparan ambos métodos para determinar cuál es la valorización mas adecuada para utilizar en el flujo de caja del proyecto. Esta comparación considera el beneficio anual obtenido en el horizonte temporal.

Tabla 10: Comparación de beneficios generados

Año	Beneficio escenario fijo	Beneficio escenario variable
1	$ 28.500.000	$ 31.225.600
2	$ 28.500.000	$ 30.137.388
3	$ 28.500.000	$ 29.087.100
4	$ 28.500.000	$ 28.073.414
5	$ 28.500.000	$ 27.095.056
6	$ 28.500.000	$ 26.150.793
7	$ 28.500.000	$ 25.239.438
8	$ 28.500.000	$ 24.359.844
9	$ 28.500.000	$ 23.510.903
10	$ 28.500.000	$ 22.691.548

Fuente: Elaboración propia

La comparación de los escenarios de estimación de beneficios económicos asociados al uso de hélices antiheladas muestra que el escenario con precio y producción constantes alcanza un beneficio acumulado de $285.000.000 durante el horizonte de diez años, mientras que el escenario con precio y producción variables alcanza $267.571.084. Esta diferencia de $17.428.916 representa una disminución del 6,12% respecto del escenario fijo. Aunque el escenario variable presenta beneficios anuales superiores durante los primeros tres años, a partir del cuarto año sus resultados son inferiores a los del escenario constante.

No obstante, la elección no se fundamenta únicamente en cual método obtenga mayor beneficio acumulado, si no el cual represente de mejor manera el mercado agrícola. La segunda opción entrega mayor realismo al permitir representar cambios en el rendimiento del campo agrícola, si bien en la etapa de juventud (5 a 10 años) el árbol de naranja tiene a tener una producción creciente en cada temporada ya en la etapa de madurez plena (11 a 30 años) el árbol alcanza su máxima capacidad productiva y la productividad tiene a mantenerse o decaer paulatinamente un pequeño porcentaje y con en el caso de estudio se tienen naranjas en distintas etapas entre los 8 y los 26 años, lo más certero y realista es considerar una pequeña disminución en la producción agrícola. Este método también permite evaluar si la inversión sigue siendo conveniente cuando disminuyen los beneficios.

Con lo anterior, para la realización del flujo de caja se selecciona la valorización de precio y producción variable a lo largo del horizonte de evaluación de 10 años, debido a que entrega un escenario más real y sensible para la evaluación económica de este proyecto.

9.3.4. Flujo de caja

Con los parámetros definidos ya se puede construir el flujo de caja económico de la implementación de hélices antiheladas en un campo agrícola de plantación de naranjos. El

flujo de caja se desarrolla en unidades de peso chileno considerando un horizonte de evaluación de 10 años.

Como el caso de estudio es de un particular, para la evaluación no se considera financiamiento externo, lo que a su vez permite evaluar la capacidad económica den proyecto por sus propios medios, es decir, no se considera estructura de crédito o deuda.

Para el año 0 se incorpora la inversión inicial, compuesta por la adquisición de dos equipos Tow and Blow 250 H y su traslado al predio agrícola, desde el año 1 en adelante se consideran los ingresos por venta que corresponden a los beneficios derivados de la reducción de perdidas productivas ocasionadas por eventos de helada, los costos asociados a mantenimiento y operacionales, depreciación tributaria y el impuesto al valor agregado.

Los ingresos usados en el flujo de cada corresponden a la proyección de beneficios definida en el apartado anterior, el cual considera exclusivamente los efectos económicos incrementados atribuidos a la implementación de las hélices antihelada. Los costos considerados corresponden al consumo de combustible y al mantenimiento anual de los equipos los cuales se mantienen constantes en términos reales durante todo el horizonte temporal. Estos valores fijos se encuentran detallados en la tabla 10 en conjunto a todos los parámetros utilizados en el flujo de caja.

Para efectos de la evaluación, los principales parámetros utilizados para la construcción del flujo de caja se presentan a continuación:

Tabla 11: Parámetros utilizados en el flujo de caja

Parámetro	Valor	Criterio

Horizonte de evaluación	10 años	Vida útil del equipo.
Moneda de evaluación	CLP	Es más conveniente para el caso de estudio
Inversión Incial	88.679.410 CLP	Egreso en el año 0.
Costos de mantención y operación	1.688.808 CLP/año	Costo anual constante para el horizonte de evaluación
Tasa de impuesto	27 %	Impuesto de primera categoria
Vida útil depreciable	10 años	Depreciación lineal
Depreciación anual	8.858.941 CPL / Año	Aplicada desde el año 1 al 10.
Factor de descuento	10%	Flujo neto de cada año expresado a valor presente.

Fuente: Elaboración propia

Para efectos tributarios, se considera que los equipos se deprecian linealmente durante su vida útil, distribuyendo su costo de adquisición en cuotas anuales iguales. La depreciación se deduce para determinar la base imponible y, posteriormente, se reintegra al flujo de caja, dado que no constituye una salida de efectivo; su efecto neto corresponde al ahorro tributario generado.

La vida útil esperada para el equipo de control de heladas Tow and Blow modelo TBD 250 H se estima en 10 años, considerando un estándar de unas 100 horas de uso anual y su respectiva mantención anual de acuerdo con las especificaciones técnicas del distribuidor Zimex Smart Agro

La depreciación lineal reconoce que el valor de los equipos disminuye de manera uniforme durante su vida útil. En lugar de cargar todo el costo de compra en el año 0 para efectos contables y tributarios, ese costo se reparte en cuotas anuales iguales, se toma en cuenta la vida útil de 10 años para el activo, la cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Depreciación\ anual = \frac{Valor\ de\ adquisición - Valor\ residual}{Vida\ útil}$$

Considerando la inversión inicial dos equipos Tow & Blow 250 H por $88.589.410 más $90.000 de traslado, lo que totaliza $88.679.410.

Asumiendo la vida útil de 10 años y valor residual igual a cero:

$$Depreciación\ anual = \frac{\$88.679.410}{10} = \$8.867.941\ CPL/anual$$

Esto significa que, para efectos tributarios, cada año se reconoce una depreciación de $8.867.941.

Una vez definida la depreciación tributaria de los equipos mediante el método lineal, se estructura el flujo de caja económico del proyecto, considerando los beneficios y desembolsos asociados a la implementación de las hélices antiheladas. En primer lugar, se registran los beneficios económicos derivados de las pérdidas productivas evitadas, los cuales representan el valor de la producción de naranjas que se conserva gracias al sistema de protección, y no la totalidad de las ventas del predio.

A continuación, se descuentan los costos operacionales, correspondientes al consumo de combustible y a la mantención de los equipos, para obtener el EBITDA o resultado antes de la depreciación. Posteriormente, se resta la depreciación tributaria para determinar el EBIT, que, al no considerarse financiamiento externo ni gastos por intereses, constituye el resultado antes de impuestos dentro de la estructura simplificada del proyecto.

Las ecuaciones de los cálculos realizados son las siguientes:

$$EBITDA = Ingresos - Costos$$

$$EBIT = EBITDA - Depreciación$$

$$Utilidad\ después\ de\ impuesto = EBIT + Impuesto$$

$$Flujo\ de\ caja\ neto = Utilidad\ después\ de\ impuesto + Depreciación + Valor\ residual$$

En el año 0, el flujo de caja corresponde exclusivamente al egreso por la inversión inicial, la cual corresponde a un total de $88.679.410 CPL, posterior a este año el flujo de caja se obtiene de la suma de la utilidad después de impuesto y la depreciación del periodo.

Una vez obtenido el flujo de caja neto de cada período, se calcula su valor presente mediante la aplicación de una tasa de descuento que representa el costo de oportunidad del capital y el riesgo del proyecto. Este procedimiento permite expresar los beneficios y desembolsos futuros en términos monetarios comparables con la inversión realizada en el año 0. Para este caso se utiliza una tasa de descuento anual del 10%.

Bajo la siguiente formula:

$$Valor\ Presente\ (VP) = \frac{Flujo\ de\ caja\ del\ año}{(1+i)^t}$$

Donde:

- i, corresponde a la tasa de descuento, en este caso del 10%
- t, corresponde al número de periodos.

Finalmente, se determinan el flujo de caja acumulado y el flujo de caja descontado acumulado. El primero permite identificar cuándo se recupera la inversión sin aplicar una

tasa de descuento, mientras que el segundo evalúa esa recuperación incorporando el valor temporal del dinero. El saldo final de este último corresponde al Valor Actual Neto del proyecto y complementa el análisis del período de recuperación de la inversión.

Las tablas a continuación muestran el flujo de caja correspondiente a este proyecto.

Tabla 12: Extracto de flujo de caja, año 0 al 5.

Ítem / Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos	$ -	$31.225.600	$30.137.388	$29.087.100	$28.073.414	$27.095.056
Costos Operacionales						
Combustible	$ -	$-910.000	$-910.000	$-910.000	$-910.000	$-910.000
Mantención	$ -	$-778.808	$-778.808	$-778.808	$-778.808	$-778.808
Total Costos	$ -	$-1.688.808	$-1.688.808	$-1.688.808	$-1.688.808	$-1.688.808
EBITDA	$ -	$29.536.792	$28.448.580	$27.398.292	$26.384.606	$25.406.248
Depreciación (-)	$ -	$-8.867.941	$-8.867.941	$-8.867.941	$-8.867.941	$-8.867.941
EBIT	$ -	$20.668.851	$19.580.639	$18.530.351	$17.516.665	$16.538.307
Impuesto	$ -	$-5.580.590	$-5.286.772	$-5.003.195	$-4.729.500	$-4.465.343
UDI	$ -	$ 15.088.261	$ 14.293.866	$ 13.527.156	$ 12.787.166	$ 12.072.964
Depreciación		$8.867.941	$8.867.941	$8.867.941	$8.867.941	$8.867.941
Inversión inicial	$-88.679.410	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Flujo neto	$-88.679.410	$23.956.202	$23.161.807	$22.395.097	$21.655.107	$20,940,905
Flujo acumulado	$-88.679.410	$-64.723.208	$-41.561.400	$-19.166.303	$2.488.803	$23.429.709
VP	$-88.679.410	$21.778.366	$19.141.990	$16.825.768	$14.790.729	$13.002.654
VP acumulado	$-88.679.410	$-66.901.044	$-47.759.055	$-30.933.287	$-16.142.558	$-3.139.903

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Extracto de flujo de caja, año 6 al 10.

Ítem / Año	6	7	8	9	10
Ingresos	$26.150.793	$25.239.438	$24.359.844	$23.510.903	$22.691.548
Costos Operacionales					
Combustible	$-910.000	$-910.000	$-910.000	$-910.000	$-910.000
Mantención	$-778.808	$-778.808	$-778.808	$-778.808	$-778.808
Total Costos	$-1.688.808	$-1.688.808	$-1.688.808	$-1.688.808	$-1.688.808
EBITDA	$24.461.985	$23.550.630	$22.671.036	$21.822.095	$ 21.002.740

Depreciación (-)	$-8.867.941	$-8.867.941	$-8.867.941	$-8.867.941	$-8.867.941
EBIT	$15.594.044	$14.682.689	$13.803.095	$12.954.154	$12.134.799
Impuesto	$-4.210.392	$-3.964.326	$-3.726.836	$-3.497.622	$-3.276.396
UDI	$11.383.652	$10.718.363	$10.076.259	$9.456.533	$8.858.403
Depreciación (+)	$8.867.941	$8.867.941	$8.867.941	$8.867.941	$8.867.941
Inversión inicial	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Flujo neto	$20.251.593	$19.586.304	$18.944.200	$18.324.474	$17.726.344
Flujo acumulado	$43.681.302	$63.267.606	$82.211.806	$100.536.280	$118.262.624
VP	$11.431.496	$10.050.871	$8.837.609	$7.771.366	$6.834.273
VP acumulado	$8.291.593	$18.342.464	$27.180.074	$34.951.439	$41.785.712

Fuente: Elaboración propia

9.3.5. Indicadores de rentabilidad

Una vez realizado el flujo de caja económico, se procede a calcular los indicadores de rentabilidad del proyecto con el propósito de evaluar la conveniencia económica de implementar dos hélices antiheladas Tow and Blow 250 H en la plantación de naranjos estudiada. Los indicadores permiten analizar la capacidad del proyecto para recuperar la inversión inicial, generar valor económico y alcanzar la rentabilidad mínima bajo los supuestos establecidos.

La evaluación considera un horizonte de diez años, flujos expresados en pesos chilenos constantes del año base y una tasa de descuento real anual de 10%, adoptada como supuesto para el estudio de prefactibilidad. Esta tasa permite actualizar los flujos futuros a valor presente e incorporar el valor del dinero en el tiempo. Asimismo, el flujo contempla beneficios variables derivados de las pérdidas productivas evitadas, los costos de operación y mantención de los equipos, la depreciación lineal y una tasa de Impuesto de Primera Categoría de 27%, considerada como supuesto del escenario evaluado.

El análisis se desarrolla sin financiamiento externo, por lo que no incorpora préstamos, intereses ni amortizaciones de deuda. En consecuencia, los resultados reflejan la capacidad del proyecto para recuperar los recursos invertidos y generar excedentes a partir de sus beneficios incrementales y desembolsos asociados, con independencia de una estructura de financiamiento.

Los indicadores considerados corresponden al Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el período de recuperación de la inversión y el índice de rentabilidad (IR). Su análisis conjunto permite obtener una visión integral de la conveniencia económica del proyecto, al aportar información complementaria sobre el valor generado, la rentabilidad porcentual, el tiempo necesario para recuperar la inversión y la relación entre el valor presente de los flujos futuros y el desembolso inicial.

9.3.5.1. Valor actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) corresponde al valor presente de los flujos netos de efectivo futuros generados por un proyecto, descontados mediante una tasa que representa el costo de oportunidad o la rentabilidad mínima exigida, menos la inversión inicial. Este indicador permite determinar si una alternativa de inversión genera valor económico durante el horizonte de evaluación.

La expresión general utilizada para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

• I_0 : Inversión inicial.

• F_t : Flujo neto del año t.

• r : Tasa de descuento.

• t : Periodo de evaluación.

Para la evaluación de las dos hélices antiheladas Tow & Blow 250 H, se considera una inversión inicial de $88.679.410 y un horizonte de diez años. Se utilizan los flujos netos obtenidos después de aplicar el supuesto de Impuesto de Primera Categoría de 27%, incorporando la deducción y posterior reintegro de la depreciación lineal. Estos flujos se descuentan a una tasa real anual de 10%, adoptada como supuesto de prefactibilidad.

A partir del flujo de caja desarrollado, el valor presente de los flujos netos correspondientes a los años 1 al 10 alcanza aproximadamente $130.465.122. Por lo tanto:

$$VAN = -88.679.410 + 130.465.122$$

$$VAN = \$41.785.712$$

El VAN positivo indica que, bajo los supuestos utilizados, el proyecto permite recuperar la inversión inicial, satisfacer la rentabilidad mínima exigida de 10% anual y generar un excedente económico de aproximadamente $41,8 millones, expresado en pesos del año base. Este excedente corresponde a valor presente y no a una ganancia anual ni a la suma de los flujos sin descontar.

Tabla 14: Criterios de decisión Valor Actual Neto

Condición	Interpretación
VAN > 0	El proyecto genera valor por encima de la rentabilidad exigida.
VAN = 0	El proyecto recupera la inversión y alcanza exactamente la rentabilidad exigida, sin generar un excedente adicional.

VAN < 0	El proyecto no alcanza la rentabilidad exigida, aunque puede generar flujos operativos positivos.

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios expuestos en la Tabla 14 permite evaluar la conveniencia de la inversión respecto de la tasa de descuento seleccionada.

En consecuencia, la adquisición de las dos hélices resulta económicamente conveniente según el criterio del VAN. No obstante, esta conclusión está condicionada a la materialización de los beneficios proyectados por pérdidas evitadas, a los costos considerados y a los supuestos tributarios y de descuento definidos. Por ello, el resultado debe interpretarse como una estimación del escenario evaluado y no como una rentabilidad garantizada.

9.3.5.2. Tasa interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) corresponde a la tasa de descuento que iguala a cero el Valor Actual Neto de un proyecto de inversión. Este indicador permite estimar la rentabilidad porcentual implícita en los flujos netos de efectivo proyectados y evaluar si dicha rentabilidad supera la tasa mínima exigida por el inversionista.

La ecuación correspondiente es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

Donde:

• I_0 : Inversión inicial.

• F_t : Flujo neto del año t.

• TIR : Tasa Interna de Retorno

• t : Periodo de evaluación.

Para la interpretación del resultado, se compara el valor obtenido TIR con la tasa de descuento, que es del 10%.

Tabla 15: Criterios de interpretación de la Tasa Interna de Retorno

Condición	Interpretación
TIR > 10%	El proyecto es rentable y conviene aceptarlo
TIR = 10%	El proyecto no alcanza la rentabilidad mínima exigida y se rechaza.
TIR < 10%	La inversión es indiferente (no genera ni pierde valor económico adicional).

Fuente: Elaboración propia.

A partir del flujo de caja económico del proyecto, considerando la inversión inicial y los flujos netos después de impuestos correspondientes al horizonte de diez años, se obtiene una Tasa Interna de Retorno de 20,79% anual. Este resultado supera la tasa de descuento real de 10% adoptada como rentabilidad mínima exigida de hecho supera en 10,79 puntos porcentuales la rentabilidad mínima exigida. De acuerdo con los criterios expuestos en la Tabla 14 la inversión resulta económicamente conveniente según este criterio. Asimismo, el resultado es consistente con el Valor Actual Neto positivo obtenido previamente.

En consecuencia, la TIR refuerza la señal positiva obtenida mediante el Valor Actual Neto (VAN), sugiriendo que la implementación del sistema de protección contra heladas podría generar una rentabilidad atractiva durante el período evaluado.

9.3.5.3. Periodo de recuperación de la inversión (Payback)

El período de recuperación de la inversión, o Payback, corresponde al tiempo requerido para que los flujos netos de efectivo acumulados de un proyecto igualen la

inversión inicial realizada. Este indicador permite estimar el plazo en que se recupera el capital invertido y constituye una medida complementaria de liquidez y riesgo del proyecto.

Para el correspondiente análisis se consideran dos enfoques:

- Payback simple: Divide la inversión inicial entre el flujo de caja anual sin considerar la inflación o el valor del dinero en el tiempo.
- Payback descontado: Calcula el tiempo de recuperación aplicando una tasa de descuento a los flujos de caja futuros.

Tabla 16: Extracto evolución del flujo acumulado

Año	Flujo acumulado	Estado
0	−$88.679.410	Inversión pendiente
1	−$64.723.208	No Recuperada
2	−$41.561.400	No Recuperada
3	−$19.166.303	No Recuperada
4	$2.488.803	Inversión Recuperada

Fuente: Elaboración propia

Comenzando con el periodo de recuperación simple, visualizando la evolución del flujo acumulado en la Tabla 16, se obtiene que la inversión se recupera al año 4, puesto que el flujo acumulado pasa de ser negativo al finalizar el año 3 a ser positivo al finalizar el año 4.

Para estimar la fracción del año necesaria para recuperar la inversión, se utiliza la ecuación:

$$PAYBACK = n + \frac{|FCA|_n}{FC_{n+1}}$$

Donde:

- n, corresponde al ultimo año con flujo acumulado negativo
- FCA_n, corresponde al flujo de caja acumulado al finalizar en año n
- FC_{n+1}, corresponde al flujo de caja neto del año siguiente

Sustituyendo por los valores correspondientes se estima que el periodo de recuperación simple es de aproximadamente 3,88 años, lo que equivale a 3 años y 11 meses.

En el caso del periodo de recuperación descontado se utiliza los flujos actualizados a valor presente. A diferencia del método simple, reconoce que un flujo recibido en un año futuro tiene un valor presente menor cuando se aplica una tasa de descuento positiva.

Tabla 17: Extracto evolución flujo descontado acumulado

Año	Flujo descontado acumulado	Estado
0	−$88.679.410	Inversión pendiente
1	−$66.901.044	No Recuperada
2	−$47.759.055	No Recuperada
3	−$30.933.287	No Recuperada
4	−$16.142.558	No Recuperada
5	−$3.139.903	No Recuperada
6	$8.291.593	Inversión Recuperada

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, la inversión se recupera durante el año 6, debido a que el flujo descontado acumulado se mantiene negativo al finalizar el año 5 y se vuelve positivo al finalizar el año 6.

Para estimar la fracción del año necesaria para recuperar la inversión, se utiliza la ecuación:

$$PAYBACK_d = n + \frac{|FCDA|_n}{FCD_{n+1}}$$

Donde:

- n, corresponde al último año con flujo descontado acumulado negativo
- $FCDA_n$, corresponde al flujo descontado acumulado al finalizar en año n
- FCD_{n+1}, corresponde al flujo descontado del año siguiente

De esta manera reemplazando por los valores correspondientes se obtiene un periodo de recuperación descontado de 5,27 años, lo que equivale a 5 años y 3 meses.

Comparando los dos enfoques obtenidos

Tabla 18:Comparación período de recuperación de la inversión

Indicador	Resultado aproximado	Año en que se recupera la inversión
Recuperación simple	3,89 años	Año 4
Recuperación descontada al 10%	5,27 años	Año 6

Horizonte de evaluación	10 años	—

Fuente: Elaboración propia.

El período de recuperación de la inversión se determina mediante la acumulación de los flujos netos del proyecto, considerando tanto el método simple como el descontado. Mediante el primero, se obtiene un plazo aproximado de 3 año y 11 meses, dado que al finalizar el tercer año permanece un saldo pendiente de $19.166.303, el cual se compensa con el flujo generado durante el cuarto año. Por su parte, al actualizar los flujos a una tasa real anual de 10%, el período de recuperación descontado alcanza aproximadamente 5 años y 3 meses, situándose durante el sexto año de evaluación.

Ambos resultados se encuentran dentro del horizonte de diez años considerado para el proyecto. La diferencia entre ellos evidencia la importancia de incorporar el valor del dinero en el tiempo, ya que la recuperación a valor presente requiere un plazo mayor que la recuperación sin descuento.

En conclusión, los resultados indican que el proyecto recuperaría la inversión inicial dentro del horizonte de evaluación de diez años. Este resultado complementa los indicadores VAN y TIR, aportando información sobre el tiempo de exposición financiera de la inversión.

9.3.5.4. Índice de rentabilidad

El índice de rentabilidad también conocido como relación beneficio-costo es una herramienta financiera que mide el valor actualizado de los flujos de efectivo generados por

cada unidad monetaria invertida en un proyecto. Relaciona el valor presente de los flujos de caja netos futuros con la inversión inicial. A diferencia del VAN, que expresa el valor generado en pesos, el IR presenta una medida relativa de ese valor respecto del capital invertido.

Se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$índice\ de\ Rentabilidad = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+r)^t}}{I_0}$$

Donde:

- FC_t, corresponde al flujo de caja neto de cada año.
- r, corresponde a la tasa de descuento.
- n, corresponde al horizonte de evaluación.
- I_0, corresponde a la inversión inicial

El criterio de decisión es el siguiente:

Tabla 19: Criterios de decisión índice de rentabilidad

Condición	Interpretación
$\boldsymbol{IR > 1}$	El proyecto genera valor por encima de la rentabilidad exigida.
$\boldsymbol{IR = 1}$	Recupera la inversión y alcanza exactamente la rentabilidad exigida.
$\boldsymbol{IR < 1}$	No alcanza la rentabilidad exigida.

Fuente: Elaboración propia.

Para su cálculo se consideró una inversión inicial de $88.679.410, una tasa de descuento del 10% anual y un horizonte de evaluación de diez años. A partir de los flujos de

caja proyectados, se obtuvo un valor presente de los flujos futuros de aproximadamente $130.465.122, lo que permitió determinar un Índice de Rentabilidad:

$$IR = \frac{\$130.465.122}{\$88.679.410}$$

$$IR = 1{,}47$$

Este resultado indica que, por cada peso invertido inicialmente, se generan aproximadamente $1,47 de flujos netos a valor presente, de los cuales cerca de $0,47 corresponden a valor adicional respecto del desembolso inicial. Dado que el índice es superior a uno, el proyecto cumple el criterio de aceptación de este indicador y presenta un resultado consistente con el VAN positivo calculado previamente.

9.3.5.5. Unificación de resultados indicadores de rentabilidad

Los resultados obtenidos anteriormente se sintetizan en la Tabla 19, la cual permite comparar cada indicador con su respectivo criterio de evaluación con el objetivo de evaluar el desempeño económico del proyecto.

Tabla 20: Indicadores de rentabilidad

Indicador	Resultado	Criterio de evaluación	Interpretación
Valor Actual Neto	$41.785.712	VAN > 0	Cumple
Tasa Interna de Retorno	20,79%	TIR > 10%	Cumple
Recuperación simple	3,89 años	Recuperación dentro del horizonte	Cumple
Recuperación descontada	5,27 años	Recuperación dentro del horizonte	Cumple

Índice de rentabilidad	1,47	IR > 1	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

El análisis conjunto de los indicadores de rentabilidad muestra que la adquisición de dos hélices antiheladas Tow & Blow 250 H resulta económicamente conveniente bajo los supuestos del escenario evaluado. El proyecto presenta un Valor Actual Neto de $41.785.712, lo que indica que los flujos netos futuros, descontados a una tasa real anual de 10%, permiten recuperar la inversión inicial y generar un excedente económico adicional. Este resultado es consistente con una Tasa Interna de Retorno de 20,79%, superior a la rentabilidad mínima exigida, y con un índice de rentabilidad de 1,47, que expresa que cada peso invertido inicialmente genera aproximadamente $1,47 de flujos netos a valor presente.

En cuanto a la recuperación de los recursos invertidos, el período simple alcanza aproximadamente 3,89 años, mientras que el período descontado se extiende a 5,27 años. Por tanto, la inversión se recupera durante el cuarto año sin descuento y durante el sexto año al considerar el valor del dinero en el tiempo. Ambos resultados se encuentran dentro del horizonte de evaluación de diez años, aunque la diferencia entre ellos evidencia la importancia de incorporar el costo de oportunidad del capital.

El caso base bajo todos los criterios evaluados permite concluir que el proyecto es conveniente, sin embargo, es importante considerar un análisis de sensibilidad el cual permite determinar si esta conclusión se mantiene cuando los parámetros principales cambian.

9.3.6. Análisis de sensibilidad

Si bien los indicadores del escenario base muestran resultados favorables, estos se encuentran condicionados al cumplimiento de los supuestos utilizados en la construcción del flujo de caja. Por esta razón, se desarrolla un análisis de sensibilidad destinado a evaluar la estabilidad de la conveniencia económica del proyecto frente a cambios en sus principales variables.

La tabla 21 muestra las variables consideradas en el análisis de sensibilidad, junto a los cambios realizados para su evaluación.

Tabla 21: Variables consideradas en el análisis de sensibilidad

Variable	Caso Base	Escenarios	Justificación
Perdida productiva sin protección	40 %	30%, 50% y 15%	Incide directamente en los ingresos del proyecto.
Eficiencia de hélices	85%	50%, 65% 75% y 95%	Incide directamente en los ingresos del proyecto.
Costos de operación	$1.688.808	+20%, +50% y +100%	Incide directamente en los costos del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.6.1. Perdida productiva sin protección

Con el propósito de evaluar la influencia de la pérdida productiva sin protección sobre la rentabilidad del proyecto, se consideran escenarios de daño de 30%, 40% y 50%, manteniendo constantes la eficacia de las hélices y los demás parámetros del caso base. Para cada escenario se recalculan los beneficios por pérdidas evitadas, los impuestos y los flujos netos correspondientes al horizonte de diez años.

Este escenario implicaría un cambio en los ingresos generados en este proyecto.

Tabla 22: Ingreso para distintas escalas de daño

Beneficio helado evitada en un 85%			
Año	Daño del 30%	Daño 40% (base)	Daño del 50%
1	$ 23.419.200	$ 31.225.600	$ 39.032.000
2	$ 22.603.041	$ 30.137.388	$ 37.671.735
3	$ 21.815.325	$ 29.087.100	$ 36.358.875
4	$ 21.055.061	$ 28.073.414	$ 35.091.768
5	$ 20.321.292	$ 27.095.056	$ 33.868.820
6	$ 19.613.095	$ 26.150.793	$ 32.688.492
7	$ 18.929.579	$ 25.239.438	$ 31.549.298
8	$ 18.269.883	$ 24.359.844	$ 30.449.805
9	$ 17.633.177	$ 23.510.903	$ 29.388.629
10	$ 17.018.661	$ 22.691.548	$ 28.364.435

Fuente: Elaboración propia

En este apartado se presentarán los principales resultados de los indicadores de rentabilidad para cada uno de los casos, para mayor detalle del flujo de caja, revisar anexos 4 y 5 del documento.

Tabla 23: Conciliación de indicadores rentabilidad caso daño 30%

Indicador	Resultado	Criterio de evaluación	Interpretación
Valor Actual Neto	$10.953.682	VAN > 0	Cumple
Tasa Interna de Retorno	12,97%	TIR > 10%	Cumple

Recuperación simple	5,20 años	Recuperación dentro del horizonte	Cumple
Recuperación descontada	8,03 años	Recuperación dentro del horizonte	Cumple
Índice de rentabilidad	1,12	IR > 1	Cumple

Tabla 24: Conciliación de indicadores rentabilidad caso daño 50%

Indicador	Resultado	Criterio de evaluación	Interpretación
Valor Actual Neto	$72.617.742	VAN > 0	Cumple
Tasa Interna de Retorno	28,10%	TIR > 10%	Cumple
Recuperación simple	3,10 años	Recuperación dentro del horizonte	Cumple
Recuperación descontada	3,94 años	Recuperación dentro del horizonte	Cumple
Índice de rentabilidad	1,81	IR > 1	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Un 30% de daño es considerado un daño moderado el cual provoca el aborto de algunas flores o imperfecciones estéticas en la fruta, disminuyendo el rendimiento comercial sin destruir por completo la planta. Mientras que un daño al 50 % se considera un daño catastrófico en donde Una sola noche con temperaturas bajo cero extremas puede llegar a destruir hasta el 80% o 90% de una cosecha.

Sin embargo, en ambos casos evaluados los resultados son positivos, es decir cumplen con los criterios de decisión por ende el proyecto es económicamente viable para estos escenarios. Para el caso de perdidas del 30% es técnica y económicamente viable, aunque con un menor margen al caso base. Por el contrario, al caso de perdidas del 50 % en donde los resultados son mas favorables al caso base, aunque hay que tener mucho cuidado ya que, a pesar de ser tentador económicamente, una helada de este tamaño puede dejar muchos estragos en los campos agrícolas, una falla en el equipo o un apagado temprano por falta de combustible puede dejar grandes perdidas en un evento de esa calamidad.

Al considerar tanto un caso de rango moderado y uno catastrófico, surge la curiosidad por un caso de rango leve casi nulo, que pasaría si en una temporada ocurren pocos eventos de heladas a temperaturas que no sean críticas, por eso se decide evaluar un caso extremo que sería cuando el daño es solo de un 15% a lo largo del horizonte temporal, un caso hipotético poco probable debido a los cambios que está sufriendo el mundo debido al cambio climático que se vive hoy en día.

En este caso se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 25: Conciliación de indicadores rentabilidad caso daño 15%

Indicador	Resultado	Criterio de evaluación	Interpretación
Valor Actual Neto	$-36.223.263	VAN > 0	No Cumple
Tasa Interna de Retorno	-1,29%	TIR > 10%	No Cumple
Recuperación simple	9,84 años	Recuperación dentro del horizonte	Cumple

Recuperación descontada	13,80 años	Recuperación dentro del horizonte	No Cumple
Índice de rentabilidad	0,59	IR > 1	No Cumple

Fuente: Elaboración propia.

En este caso con perdidas de solo un 15% por el horizonte de evaluación, no se cumple con los criterios de evaluación establecidos en este proyecto, los flujos no permiten recuperar la inversión considerando la recuperación descontada, si bien con un payback simple si lo logra, la rentabilidad mínima exigida no se logra cumplir. En consecuente el proyecto no seria viable bajo estas condiciones.

Los resultados muestran que el proyecto presenta VAN negativo para pérdidas de 15%, mientras que conserva su conveniencia económica en los escenarios de 30% y 50%. En particular, al reducir la pérdida supuesta desde 40% a 30%, el VAN disminuye desde aproximadamente $41,79 millones a $10,95 millones y la TIR se reduce desde 20,79% a 12,97%.

9.3.6.2. Sensibilidad en la eficiencia de las hélices

Con el propósito de evaluar la influencia del desempeño técnico del sistema sobre la rentabilidad del proyecto, se consideran eficacias de protección de 50%, 65%, 75% y 95%. La eficacia se define como la proporción de las pérdidas por heladas que evita el conjunto de las dos hélices. En todos los escenarios se mantiene una pérdida sin protección de 40%, junto con los restantes parámetros del caso base.

Este análisis evalúa cómo cambia la rentabilidad si el desempeño del sistema es inferior o superior al 85% considerado en el caso base.

La eficacia se interpreta como la proporción de las pérdidas por heladas que evita el conjunto de las dos hélices, no como el porcentaje de superficie cubierta ni como un porcentaje de aumento de temperatura.

Tabla 26: Ingreso para distintas escalas de eficiencia

Año	Helada evitada en un 50%	Helada evitada en un 65%	Helada evitada en un 75%	Helada evitada en un 95%
1	$ 18.368.000	$ 23.878.400	$27.552.000	$34.899.200
2	$17.727.875	$23.046.238	$26.591.813	$33.682.963
3	$17.110.059	$22.243.076	$25.665.088	$32.509.112
4	$16.513.773	$21.467.905	$24.770.660	$31.376.169
5	$15.938.268	$20.719.749	$ 23.907.402	$30.282.710
6	$15.382.820	$19.997.665	$ 23.074.229	$29.227.357
7	$14.846.728	$19.300.747	$22.270.092	$28.208.784
8	$14.329.320	$18.628.116	$21.493.980	$27.225.708
9	$13.829.943	$ 17.978.926	$ 20.744.915	$26.276.892
10	$13.347.970	$17.352.360	$20.021.954	$25.361.142

Fuente: Elaboración propia.

La mejora de eficacia aumenta el beneficio económico porque permite recuperar una mayor proporción de la producción expuesta. En este ejercicio, los costos se mantienen constantes para aislar el efecto del desempeño técnico.

Tabla 27: Indicadores de rentabilidad para distintas escalas de eficiencia técnica

Indicador	Eficiencia	Resultado	Criterio	Interpretación
VAN	50%	$ -8.996.455	VAN > 0	No Cumple
	65%	$12.767.331		Cumple
	75%	$27.276.522		Cumple
	95%	$ 56.294.903		Cumple
TIR	50%	7,5%	TIR > 10%	No Cumple
	65%	13,5%		Cumple
	75%	17,2%		Cumple
	95%	24,3%		Cumple

	50%	6,66		Cumple
	65%	5,10		Cumple
	75%	4,41		Cumple
R. SIMPLE	95%	3,47	< 10 años	Cumple
	50%			No Cumple
	65%	7,80		Cumple
	75%	6,28		Cumple
R.DESCONTADA	95%	4,56	< 10 años	Cumple
	50%	0,90		No Cumple
	65%	1,14		Cumple
	75%	1,31		Cumple
IR	95%	1,63	IR > 1	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

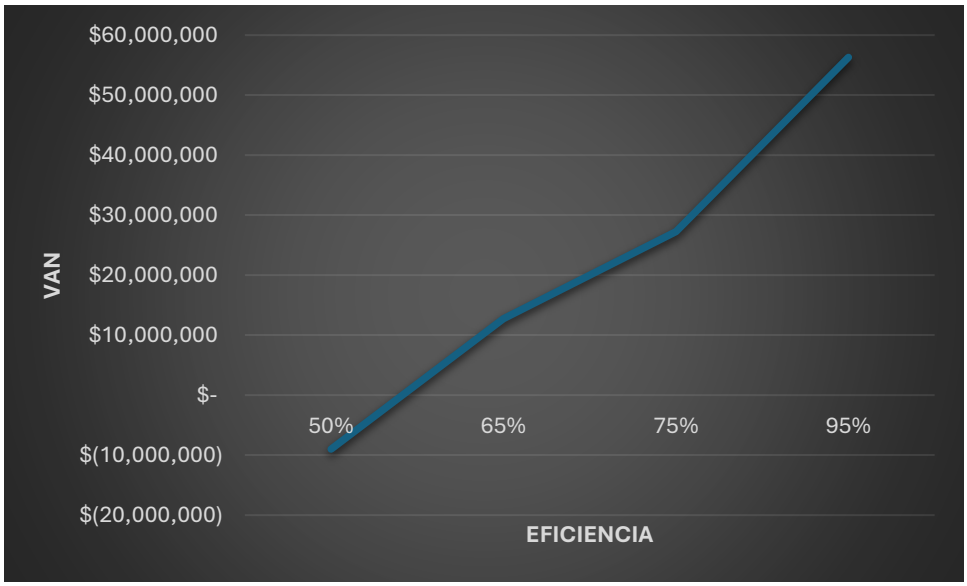


Gráfico 2: Valor Actual Neto para distintos grados de eficiencia.

Los resultados muestran que una eficiencia del 50% genera un VAN de −$8.996.455, una TIR del 7,5% y un IR de 0,90. Estos valores indican que, bajo dicho escenario, el proyecto no logra generar una rentabilidad suficiente para compensar la inversión inicial y la tasa de descuento del 10%. Por consiguiente, una eficiencia de este nivel no resulta económicamente conveniente, a pesar de que el período de recuperación simple se sitúa en 6,66 años.

Por otra parte, al considerar una eficiencia del 65%, el VAN alcanza $12.767.331, la TIR aumenta al 13,5% y el IR llega a 1,14. Estos resultados indican que el proyecto comienza a presentar condiciones de viabilidad económica dentro de los escenarios analizados. Asimismo, el período de recuperación descontado se estima en 7,80 años, inferior al horizonte de evaluación de 10 años.

En los escenarios de eficiencia del 75% y 95%, los indicadores financieros presentan una evolución favorable. El VAN aumenta a $27.276.522 y $56.294.903, respectivamente, mientras que la TIR alcanza un 17,2% y un 24,3%. Paralelamente, el período de recuperación simple disminuye a 4,41 y 3,47 años, respectivamente, lo que evidencia una recuperación más rápida de la inversión. El índice de rentabilidad también aumenta, alcanzando valores de 1,31 y 1,63.

En conclusión, el análisis evidencia que la viabilidad económica del sistema depende significativamente de la eficiencia de protección efectivamente alcanzada, tal y como se puede visualizar en el grafico 2, a medida que aumenta la eficiencia del equipo aumenta su Valor Actual Neto.

9.3.6.1. Sensibilidad en los costos operacionales

Se consideran incrementos de 20%, 50% y 100% sobre ambos componentes, manteniendo constantes la inversión inicial, los beneficios variables, la depreciación y las tasas de impuesto y descuento.

Tabla 28: Escenarios de Costos

Escenario	Variación	Combustible anual	Mantención anual	Total anual
Caso base	0%	$910.000	$778.808	$1.688.808
Aumento moderado	+20%	$1.092.000	$934.570	$2.026.570
Aumento elevado	+50%	$1.365.000	$1.168.212	$2.533.212
Duplicación de costos	+100%	$1.820.000	$1.557.616	$3.377.616

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: Indicadores económicos con sensibilidad de costos.

Indicador	Costos	Resultado	Criterio	Interpretación
	20%	$ 40.270.671		Cumple
	50%	$ 37.998.109		Cumple
VAN	100%	$ 34.210.507	VAN > 0	Cumple
	20%	20,43%		Cumple
	50%	19,88%		Cumple
TIR	100%	18,97%	TIR > 10%	Cumple
	20%	3,93		Cumple
	50%	4,00		Cumple
R. SIMPLE	100%	4,12	< 10 años	Cumple
	20%	5,36		Cumple
	50%	5,49		Cumple
R.DESCONTADA	100%	5,73	< 10 años	Cumple
	20%	1,45		Cumple
	50%	1,43		Cumple
IR	100%	1,39	IR > 1	Cumple

Fuente: Elaboración propia

El Valor Actual Neto disminuye desde $40.270.671 en el escenario de costos +20% hasta $34.210.507 en el escenario de costos +100%. Esto representa una reducción de $6.060.164, equivalente aproximadamente al 15,05% del VAN del primer escenario. A pesar de esta disminución, el indicador permanece positivo en todos los casos, lo que significa que el proyecto genera valor económico por encima de la rentabilidad mínima exigida, considerando la tasa de descuento utilizada.

La Tasa Interna de Retorno disminuye desde 20,43% hasta 18,97% a medida que aumentan los costos operacionales. No obstante, incluso en el escenario más desfavorable, la TIR supera en 8,97 puntos porcentuales la tasa de descuento del 10%. Por lo tanto, el proyecto conserva un margen de rentabilidad que respalda su conveniencia financiera bajo las condiciones analizadas.

El período de recuperación simple aumenta de 3,93 años a 4,12 años, lo que indica que el incremento de los costos operacionales retrasa la recuperación de la inversión inicial. La diferencia entre ambos escenarios es de 0,19 años, equivalente aproximadamente a 2,3 meses. Pese a este aumento, la inversión se recupera antes de cumplir cinco años en todos los escenarios evaluados, por lo que satisface holgadamente el criterio establecido de un período de recuperación inferior a 10 años.

En cuanto al período de recuperación desconocido aumenta de 5,36 a 5,73 años. A diferencia del período de recuperación simple, incorpora el efecto del valor del dinero en el tiempo mediante la tasa de descuento. El aumento de 0,37 años, equivalente a aproximadamente 4,4 meses, refleja el efecto de los mayores costos sobre la velocidad de recuperación de la inversión en términos actualizados. Aun así, en todos los escenarios el capital invertido se recupera dentro del horizonte de 10 años considerado como criterio de aceptación.

Por último, el índice de rentabilidad disminuye desde 1,45 hasta 1,39 cuando los costos operacionales aumentan. Esto significa que, según la definición del indicador empleada en el modelo financiero, el valor actualizado de los beneficios por cada unidad monetaria invertida continúa siendo superior a la unidad monetaria desembolsada. En el escenario de mayores costos, el indicador de 1,39 sigue cumpliendo el criterio de aceptación, por lo que la inversión mantiene su atractivo económico.

En síntesis, el análisis de sensibilidad de los costos operacionales permite evaluar la robustez económica del proyecto. Los resultados obtenidos indican que el proyecto mantiene su viabilidad económica frente a los tres escenarios analizados, correspondientes a incrementos de los costos operacionales del 20%, 50% y 100%.

Se observa que el incremento de los costos operacionales reduce progresivamente la rentabilidad del proyecto y prolonga el tiempo requerido para recuperar la inversión. No obstante, los indicadores financieros permanecen dentro de los criterios de aceptación establecidos en todos los escenarios evaluados. Este comportamiento demuestra que la alternativa de inversión presenta una capacidad de resistencia frente a variaciones desfavorables de los costos de operación.

9.3.6.2. Análisis de sensibilidad complementario

Como complemento de los análisis individuales, se evalúan escenarios conjuntos que modifican simultáneamente la pérdida productiva sin protección, la eficacia de las hélices y los costos operacionales. El propósito es examinar si la conveniencia económica del proyecto se mantiene cuando concurren cambios en sus principales variables.

Tabla 30: Escenarios conjuntos

Escenario	Pérdida sin protección	Eficacia de las hélices	Variación de costos
Caso base	40%	85%	0%
Desfavorable moderado	30%	75%	+20%
Desfavorable severo	20%	65%	+50%
Favorable	50%	95%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31: Resultados indicadores económicos escenario conjunto

Indicador	Escenarios	Resultado	Criterio	Interpretación
	30% 75%20%	$ - 1.443.252		No Cumple
	20% 65% 50%	$ - 39.808.471		No Cumple
VAN	50% 95% 0%	$ 90.754.230	VAN > 0	Cumple
	30% 75%20%	9,60%		No Cumple
	20% 65% 50%	-2,71%		No Cumple
TIR	50% 95% 0%	32,25%	TIR > 10%	Cumple
	30% 75%20%	6,02		Cumple
	20% 65% 50%			No Cumple
R. SIMPLE	50% 95% 0%	2,77	< 10 años	Cumple
	30% 75%20%			No Cumple
	20% 65% 50%			No Cumple
R.DESCONTADA	50% 95% 0%	3,45	< 10 años	Cumple
	30% 75%20%	0,98		No Cumple
	20% 65% 50%	0,55		No Cumple
IR	50% 95% 0%	2,02	IR > 1	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

El VAN presenta diferencias significativas entre los escenarios evaluados. En el primer escenario alcanza un valor negativo de $1.443.252, lo que indica que los flujos de caja actualizados no son suficientes para cubrir la inversión inicial y alcanzar la rentabilidad mínima exigida. En el segundo escenario, el VAN disminuye considerablemente hasta −$39.808.471, reflejando una pérdida de valor económico aún mayor.

En contraste, el tercer escenario obtiene un VAN positivo de $90.754.230, lo que demuestra una importante capacidad de generación de valor bajo los supuestos planteados.

La TIR confirma las diferencias observadas en el VAN. El primer escenario obtiene una rentabilidad de 9,60%, ligeramente inferior a la tasa de descuento del 10%. Aunque la diferencia es pequeña, el proyecto no satisface el criterio financiero establecido.

En el segundo escenario, la TIR es de −2,71%, lo que refleja condiciones económicas desfavorables y una rentabilidad insuficiente para justificar la inversión.

Por el contrario, el tercer escenario alcanza una TIR de 32,25%, superando ampliamente la tasa de descuento. Esto indica que, bajo los supuestos de pérdidas elevadas, eficiencia del 95% y costos operacionales sin incremento, el proyecto presenta una rentabilidad atractiva.

En el primer escenario, el período de recuperación simple es de 6,02 años, por lo que cumple el criterio establecido de recuperación inferior a 10 años. Sin embargo, la recuperación descontada no cumple el criterio indicado en la tabla. Esto demuestra que recuperar nominalmente la inversión no necesariamente implica recuperar su valor económico considerando el costo del dinero en el tiempo.

Para el segundo escenario, los valores de los períodos de recuperación para ninguno de los casos se encuentran entre los 10 años del horizonte de evaluación de este proyecto.

En el tercer escenario, la recuperación simple se produce en 2,77 años y la descontada en 3,45 años. Ambos resultados son favorables y muestran que, bajo estas condiciones, la inversión se recuperaría en un plazo considerablemente menor que en el primer escenario.

Tabla 32: Síntesis Comparativa

Indicador	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
VAN	−$1.443.252	−$39.808.471	$90.754.230
TIR	9,60%	−2,71%	32,25%
Recuperación simple	6,02 años	No cumple	2,77 años
Recuperación descontada	No cumple	No cumple	3,45 años
IR	0,98	0,55	2,02
Viabilidad global	No viable	No viable	Viable

Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, el análisis demuestra que la viabilidad económica del proyecto depende significativamente de las condiciones bajo las cuales se implementa y opera la tecnología. En particular, la combinación de pérdidas potenciales importantes por heladas, una elevada eficiencia de protección y costos operacionales controlados puede generar resultados económicos favorables.

9.3.6.3. Arrendamiento de equipos.

Como extensión del caso base, se evalúa la sustitución de la compra por el arrendamiento de dos hélices TBD 250 H, manteniendo los beneficios variables y el consumo de combustible considerados previamente. La tarifa corresponde a USD 7.000 mensuales por equipo durante cuatro meses, entre mayo y septiembre.

$$Arriendo\ mensual\ USD = 7.000\ USD\ X\ 2$$

$$Arriendo\ mensual\ USD = 14.000\ USD$$

$$Arriendo\ mensual\ CLP = 14.000\ USD\ X\ 973.51\ CLP$$

$$Arriendo\ mensual\ CLP = \$13.629.140\ CLP$$

$$Costo\ Anual\ de\ Arriendo = \$13.629.140\ CLP\ x\ 4\ meses$$

$$Costo\ Anual\ de\ Arriendo = \$54.516.560\ CLP/\ mensual$$

Esto implica que este costo se repite cada temporada durante los 10 años del horizonte evaluado. El costo de combustible se mantiene, sin embargo, el costo de mantención anual ya no aplica para este escenario.

Al desarrollar el flujo de caja correspondiente para este escenario, los gastos provocados por el arriendo por los 4 meses en donde ocurren eventos de helada más los gastos de combustible son mucho mayores a los beneficios generados por la evitación de perdidas por estos eventos de heladas, por lo tanto, el EBITDA resulta negativo para los 10 años del horizonte de evaluación, tal y como se puede visualizar el en Anexo 4.

Al obtener el EBIRDA negativo no corresponde aplicar el impuesto de primera categoría, resultando finalmente en un flujo de caja neto negativo para todo el horizonte de evaluación. Al revidar los indicadores de rentabilidad se obtiene un VAN de $ -171.629.587, la tasa interna de retorno no existe debido a que todos los flujos operativos son negativos, tampoco existe periodo de recuperación dentro del horizonte temporal establecido.

En consecuencia, el arrendamiento por cuatro meses anuales no resulta conveniente bajo la tarifa considerada. La adquisición conserva una mayor conveniencia económica, aun cuando exige un desembolso inicial más elevado.

9.4. Evaluación Ambiental

El análisis se concentra en la fase de operación, debido a que la instalación del equipo no contempla obras civiles importantes. El principal aspecto ambiental corresponde a la emisión de ruido durante el período nocturno, ya que la hélice opera principalmente durante la madrugada, cuando existe mayor sensibilidad de la población y menores niveles de ruido ambiental.

La evaluación ambiental para el uso de la hélice Tow & Blow Modelo 250 H en Chile se centra casi exclusivamente en la normativa de emisiones de ruido, regulada por el Decreto Supremo Nº 38/11 del Ministerio del Medio Ambiente.

El Decreto Supremo Nº 38/11 (D.S. 38/11) del Ministerio del Medio Ambiente establece la Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes Fijas en Chile. Su objetivo principal es proteger la salud de la población regulando los niveles máximos de ruido permitidos hacia la comunidad.

La norma fija límites de ruido (medidos en decibeles corregidos o dBA) dependiendo del tipo de suelo donde se ubica el receptor. Los límites se dividen de manera estricta entre el día y la noche. Como las heladas ocurren de madrugada, la operación de la hélice debe cumplir rigurosamente el horario nocturno (21:00 a 07:00 horas).

- **Zona I (Residencial/Rural):** Áreas habitacionales o rurales. Es la que aplica para los predios vecinos a tu huerto.
- **Zona II (Mixta):** Habitacional con comercio o equipamiento vecinal.
- **Zona III (Equipamiento):** Comercio, oficinas y servicios.
- **Zona IV (Industrial):** Áreas exclusivamente industriales

Tabla 33: Límite máximo de ruido permitido

	De 07:00 a 21:00	De 21:00 a 07:00
ZONA I	55 dBa	45 dBa
ZONA II	60 dBa	45 dBa
ZONA III	65 dBa	50 dBa
ZONA IV	70 dBa	70 dBa

Fuente: Elaboración propia

Zimex Smart Agro (2018) cuenta con un Estudio Técnico de Ruido desarrollado específicamente para validar el comportamiento de ruido generado frente a las autoridades fiscalizadoras chilenas.

Los resultados de dicho estudio se encuentran a continuación.

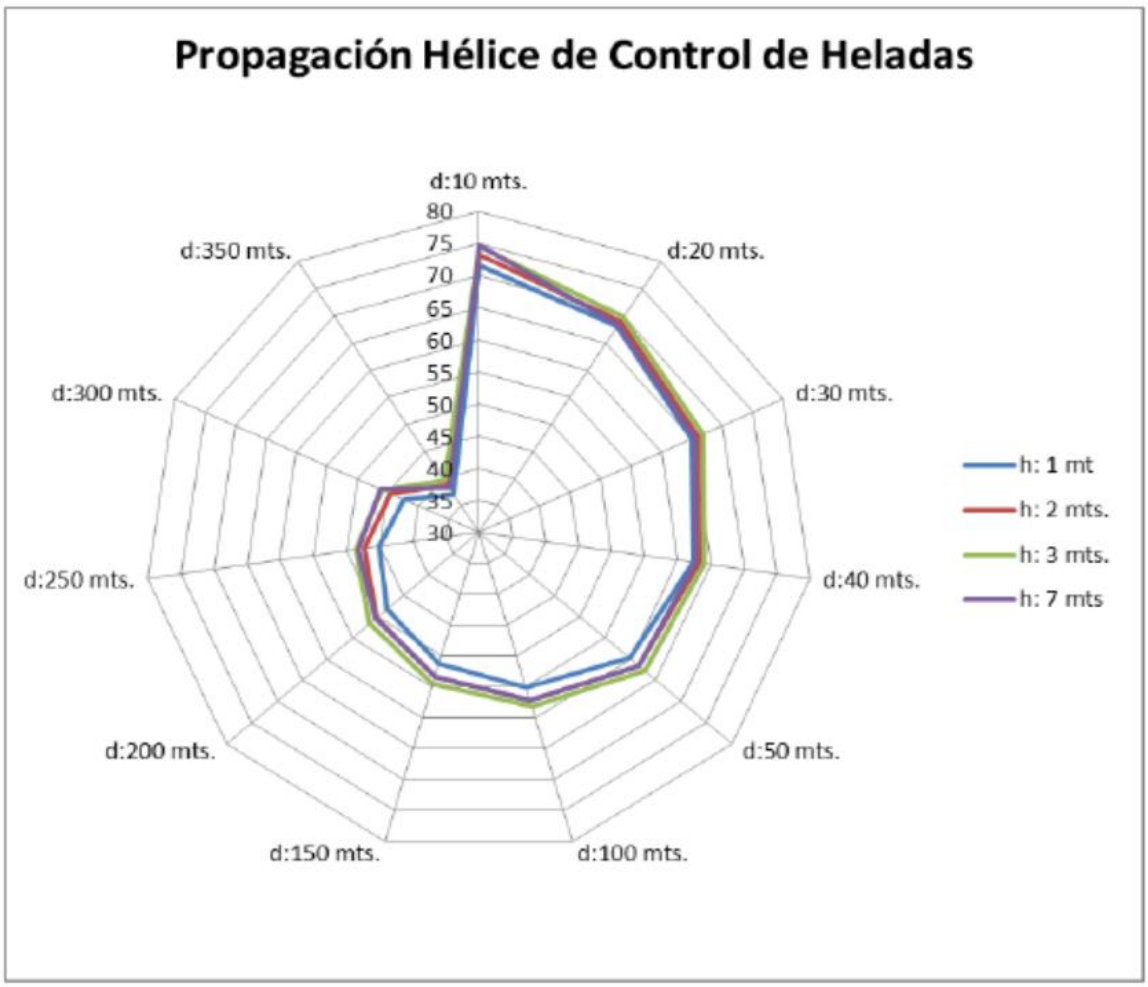


Figura 23: NPSeq Proyectado a diferentes distancias con la Hélice portátil a diferentes alturas en metros.

Tabla 5: NPSeq Proyectados hacia Distintas Distancias, en dB(A).

Distancia a la Fuente (Metros)	NPSeq* en dB(A), a 1 Metro de Altura	NPSeq* en dB(A), a 2 Metros de Altura	NPSeq* en dB(A), a 3 Metros de Altura	NPSeq* en dB(A), a 7 Metros de Altura
10	72	73	74	75
20	68	69	70	68
30	65	66	67	65
40	62	63	64	63
50	60	62	63	62
100	55	57	58	57
150	51	53	55	53
200	48	50	52	50
250	45	47	49	48
300	42	45	46	46
350	37	39	40	38

*Aproximados al entero más cercano.

Figura 24: Tabla NPSeq proyectados hacia distintas distancias, en dB(A) realizado por Zimex (2018)

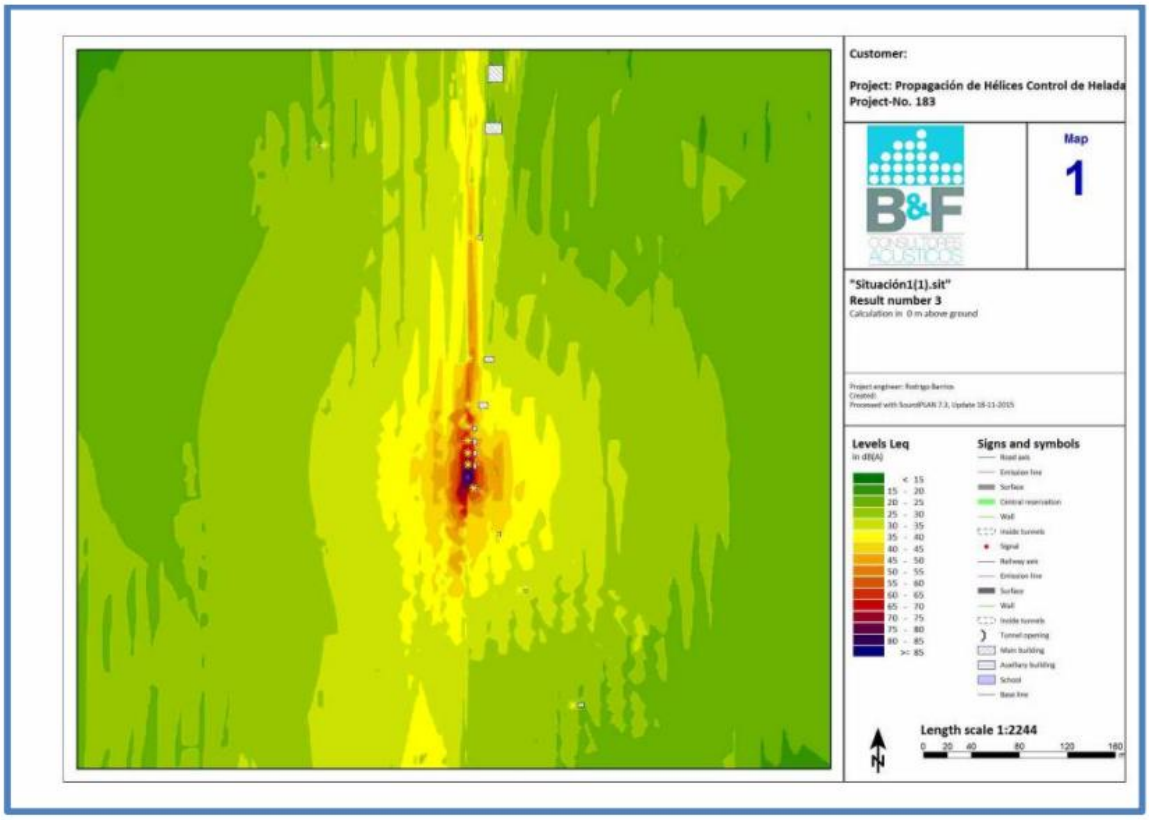


Figura 25: Mapa de Ruido del NPSeq Proyectado a Diferentes Distancias con la Hélice Portátil. Funcionado a 1 metro de altura.

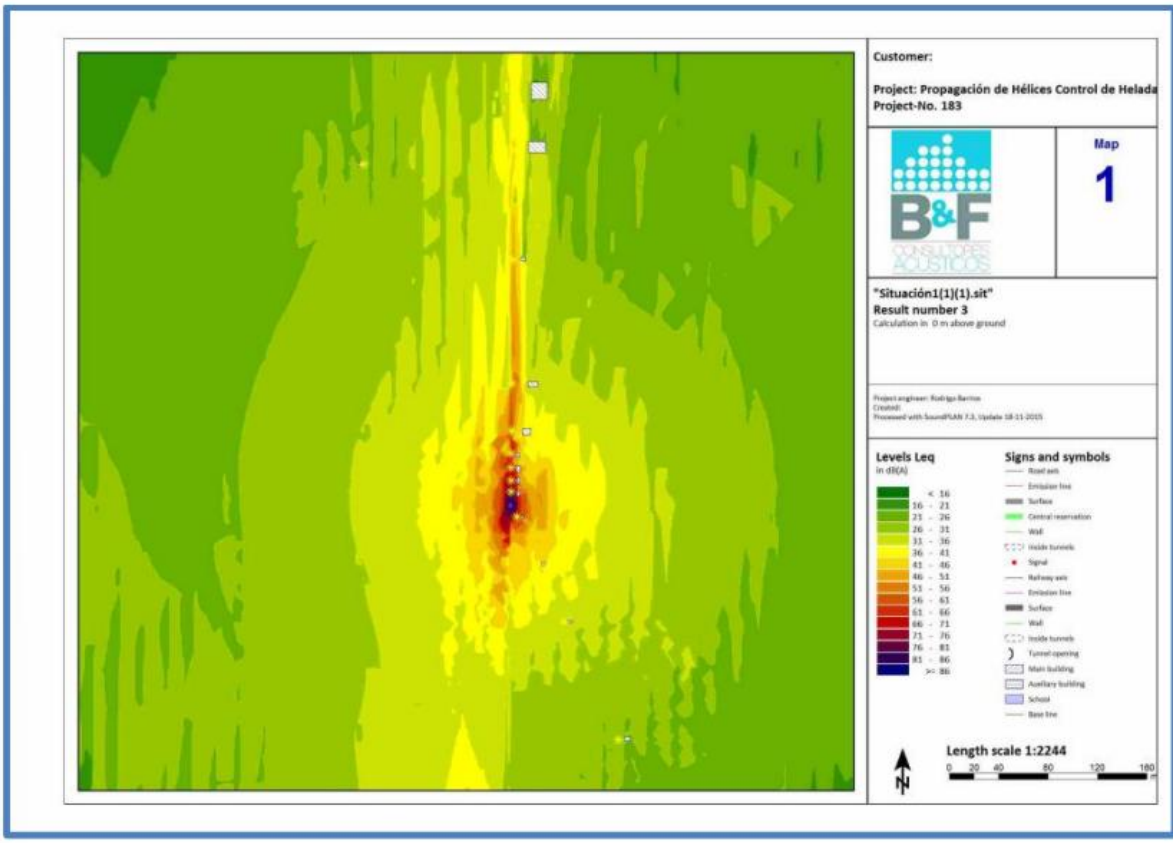


Figura 26: Mapa de Ruido del NPSeq Proyectado a Diferentes Distancias con la Hélice Portátil. Funcionado a 2 metro de altura.

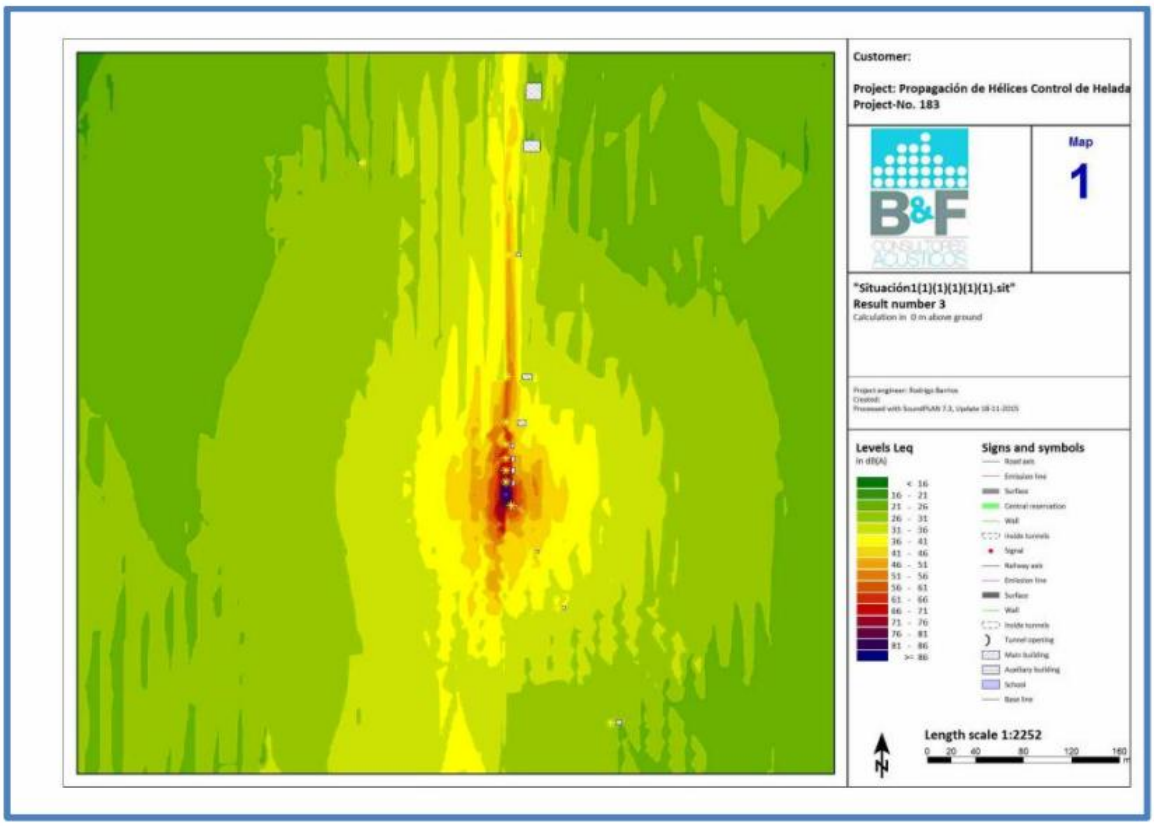


Figura 27: Mapa de Ruido del NPSeq Proyectado a Diferentes Distancias con la Hélice Portátil. Funcionado a 3 metro de altura.

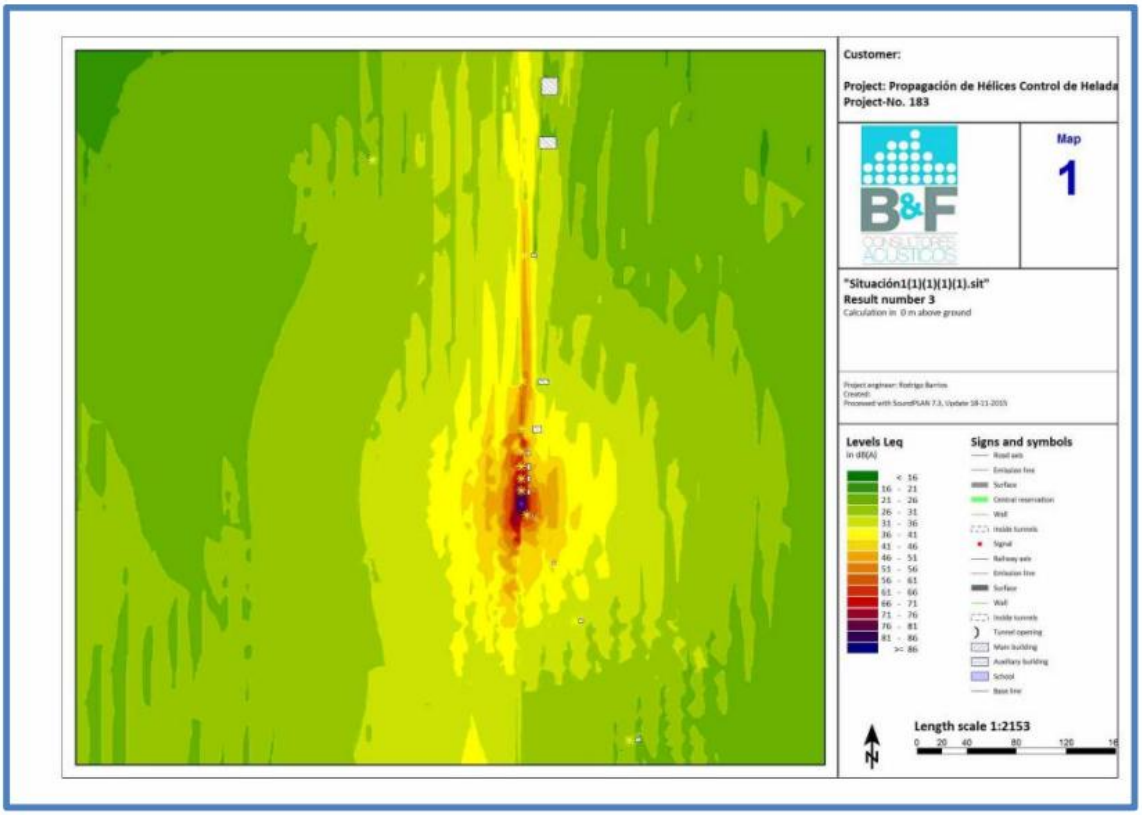


Figura 28: Mapa de Ruido del NPSeq Proyectado a Diferentes Distancias con la Hélice Portátil. Funcionado a 7 metro de altura.

Para efectos de cumplimiento de la normativa vigente D.S 38/11 del MMA, con respecto a las distintas zonas, las distancias mínimas a las cuales se debe encontrar la fuente al receptor más cercano para cumplir con los niveles máximos permitidos son las entregadas a continuación enfocado en horario nocturno que es el de interés.

Zona Límite en dB(A)		1 Metro de Altura		
		Distancia Mínima hacia la Fuente (m)	Nivel Proyectado dB(A)*	Evaluación según D.S.38/2011 del MMA
I	45	250	45	Cumple
II	45	250	45	Cumple
III	50	200	48	Cumple
IV	70	20	68	Cumple

*Aproximados al entero más cercano.

Figura 29: Niveles Proyectados dB(A), Horario Nocturno, con su Respectiva Distancia Mínima, a 1 Metro de altura

Zona Límite en dB(A)		2 Metros de Altura		
		Distancia Mínima hacia la Fuente (m)	Nivel Proyectado dB(A)*	Evaluación según D.S.38/2011 del MMA
I	45	300	45	Cumple
II	45	300	45	Cumple
III	50	200	50	Cumple
IV	70	20	69	Cumple

*Aproximados al entero más cercano.

Figura 30:Niveles Proyectados dB(A), Horario Nocturno, con su Respectiva Distancia Mínima, a 2 Metros de altura

Zona Límite en dB(A)		3 Metros de Altura		
		Distancia Mínima hacia la Fuente (m)	Nivel Proyectado dB(A)*	Evaluación según D.S.38/2011 del MMA
I	45	350	40	Cumple
II	45	350	40	Cumple
III	50	250	49	Cumple
IV	70	20	70	Cumple

*Aproximados al entero más cercano.

Figura 31: Niveles Proyectados dB(A), Horario Nocturno, con su Respectiva Distancia Mínima, a 3 Metros de altura

Zona Límite en dB(A)		7 Metros de Altura		
		Distancia Mínima hacia la Fuente (m)	Nivel Proyectado dB(A)*	Evaluación según D.S.38/2011 del MMA
I	45	350	38	Cumple
II	45	350	38	Cumple
III	50	200	50	Cumple
IV	70	20	68	Cumple

*Aproximados al entero más cercano.

Figura 32: Niveles Proyectados dB(A), Horario Nocturno, con su Respectiva Distancia Mínima, a 7 Metros de altura

Los niveles de ruido modelados fueron evaluados según la normativa del Ministerio del Medio Ambiente D.S.38 del 2011, los cuales, en horario diurno y nocturno, verán cumplimiento para las todas las distancias citadas en el informe. Con ello se logra establecer que es la única máquina de su tipo en Zimex smart agro certificada para cumplir con la Norma de ruido ambiental D.S. N°38/11 del Ministerio del Medio Ambiente en Chile, incluso en horario nocturno y a corta distancia de zonas habitadas (desde los 250 a 350 metros).

Cabe destacar que la localización del estudio del presente proyecto se encuentra rodeado de terrenos rurales dedicados a la agricultura por ende no hay una vecindad habitacional cercana a la que le pueda afectar directamente el ruido pues estas se encuentran a hectáreas de distancia de la ubicación de la hélice portátil.

Además, al ser un equipo portátil y móvil montado sobre un remolque, no califica como una construcción o infraestructura permanente. Por lo tanto, su adquisición e instalación estacional en el huerto no exige someterse a una Declaración de Impacto Ambiental. Al no requerir fundaciones de hormigón ni anclajes estructurales fijos, queda libre de los permisos sectoriales de construcción tradicionales.

9.5. Análisis y discusión de resultados

Este apartado tiene como finalidad integrar los principales resultados obtenidos en cada uno de los estudios realizado en este proyecto, es decir la evaluación técnica, económica, y ambiental, con el objetivo de establecer una visión global de su prefactibilidad.

9.5.1. Resultados técnicos

La evaluación técnica tuvo como finalidad determinar la configuración de hélices antiheladas que permite proteger de manera más efectiva la superficie productiva de aproximadamente 6 hectáreas de naranjos, ubicada en Pataguas Orillas, comuna de Pichidegua, Región del Libertador General Bernardo O’Higgins. Para ello, se compararon los modelos Tow & Blow 650 H y 250 H, considerando sus capacidades nominales de cobertura y los resultados de las simulaciones realizadas en Google Earth para distintas ubicaciones y ángulos de operación.

En primera instancia, se evaluó una unidad del modelo 650 H, cuya cobertura nominal alcanza entre 5 y 6,5 hectáreas, dependiendo de las condiciones de funcionamiento. Sin embargo, las simulaciones demostraron que la superficie nominal informada por el fabricante no necesariamente coincide con la superficie efectivamente protegida dentro de la plantación. Al considerar la geometría irregular del terreno y la distribución real de los naranjos, las configuraciones a 360° dejaron aproximadamente entre 2 y 3 hectáreas sin cobertura, según la ubicación seleccionada. Por su parte, las simulaciones a 180° mostraron superficies sin protección cercanas a 3 hectáreas y de 2,3 hectáreas, respectivamente. Estos resultados indican que una sola unidad 650 H no logra cubrir satisfactoriamente la totalidad del huerto en las ubicaciones evaluadas.

Posteriormente, se analizó la instalación de dos unidades del modelo 250 H. Esta alternativa presentó mejores resultados de cobertura efectiva debido a la posibilidad de distribuir los equipos en dos sectores del terreno. La simulación a 360° dejó aproximadamente 400 m² sin cubrir, equivalentes al 0,67% de la superficie productiva, mientras que la configuración a 180° dejó alrededor de 1.878 m² sin cobertura, equivalentes al 3,13%.

En relación con los parámetros de funcionamiento, se propuso un encendido automático a 1 °C y un apagado a 2,5 °C para reducir la probabilidad de activación tardía y mantener la operación hasta que las condiciones térmicas se hayan recuperado.

En síntesis, los resultados técnicos respaldan preliminarmente la selección de dos unidades 250 H, principalmente por su capacidad para adaptarse a la geometría del terreno y

alcanzar una cobertura espacial considerablemente superior a la obtenida con una sola unidad 650 H en las ubicaciones simuladas.

9.5.2. Resultados económicos

La evaluación económica tuvo como objetivo determinar si los beneficios asociados a la disminución de las pérdidas productivas por heladas permiten justificar la inversión requerida para implementar el sistema de protección. El análisis se desarrolló para un horizonte de evaluación de 10 años, utilizando flujos expresados en pesos chilenos constantes del año base y una tasa de descuento real anual del 10%.

La alternativa económica principal corresponde a la adquisición de dos hélices Tow & Blow 250 H, con una inversión inicial estimada de $88.679.410 CLP, incluidos los costos de transporte considerados en el estudio. El flujo de caja incorpora los beneficios derivados de las pérdidas productivas evitadas, los costos de operación y mantenimiento, la depreciación y el supuesto de una tasa de Impuesto de Primera Categoría del 27%. Se considera, además, que el proyecto no utiliza financiamiento externo.

Los principales indicadores económicos del caso base se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 34: Principales resultados caso base

Indicador	Resultado	Interpretación
Inversión inicial	$88.679.410	Desembolso inicial estimado
Horizonte de evaluación	10 años	Periodo considerado para los flujos
Tasa de descuento real	10% anual	Supuesto de prefactibilidad

Valor Actual Neto (VAN)	$41.785.712	Positivo: genera valor bajo los supuestos utilizados
Tasa Interna de Retorno (TIR)	20,79%	Superior a la tasa de descuento
Recuperación simple	3,89 años	Recuperación durante el cuarto año
Recuperación descontada	5,27 años	Recuperación durante el sexto año
Índice de rentabilidad (IR)	1,47	Superior a 1, favorable bajo el criterio utilizado

Fuente: Elaboración propia.

El VAN positivo de $41.785.712 indica que, bajo los supuestos establecidos, los flujos de caja actualizados permiten recuperar la inversión inicial, satisfacer la rentabilidad mínima exigida del 10% real anual y generar un excedente económico expresado en pesos del año base. De manera complementaria, la TIR de 20,79% supera la tasa de descuento, lo que respalda la conveniencia económica de la alternativa en el escenario base.

Los periodos de recuperación también presentan resultados favorables. La recuperación simple se estima en 3,89 años, mientras que la recuperación descontada se extiende a 5,27 años. Esta diferencia evidencia la importancia de incorporar el valor del dinero en el tiempo, puesto que los flujos futuros tienen un valor presente inferior al de los mismos montos recibidos en el momento inicial.

Sin embargo, la rentabilidad estimada depende de que se materialicen los beneficios proyectados por la reducción de pérdidas productivas. Por ello, se desarrollaron análisis de sensibilidad que modifican la pérdida productiva sin protección, la eficiencia de las hélices y los costos de operación.

El análisis conjunto muestra que la viabilidad económica no se mantiene en todos los escenarios. En el escenario desfavorable moderado —pérdida productiva del 30%, eficiencia de protección del 75% e incremento de costos del 20%—, el VAN alcanza -$1.443.252, la TIR es de 9,60% y el índice de rentabilidad es de 0,98. Estos resultados no satisfacen los criterios de aceptación económica utilizados en el estudio.

En el escenario desfavorable severo —pérdida productiva del 20%, eficiencia del 65% e incremento de costos del 50%—, el VAN disminuye a -$39.808.471 y la TIR llega a -2,71%, lo que evidencia que la inversión deja de ser conveniente bajo esas condiciones. En cambio, el escenario favorable, con una pérdida productiva del 50%, una eficiencia del 95% y sin aumento de costos, obtiene un VAN de $90.754.230 y una TIR de 32,25%.

Estos resultados muestran que la rentabilidad del proyecto es sensible a las condiciones productivas y al desempeño real de la tecnología. Por consiguiente, la evaluación económica debe interpretarse como una estimación condicionada a los supuestos del modelo y no como una garantía de rentabilidad futura.

Por último, la evaluación del arriendo, bajo las condiciones tarifarias y operacionales consideradas, arrojó un VAN de -$171.629.587, sin recuperación de la inversión durante el horizonte de 10 años. Por tanto, esta modalidad no resulta económicamente conveniente en el escenario evaluado, mientras que la compra presenta mejores resultados financieros

9.5.3. Resultados ambientales

La evaluación ambiental se centró principalmente en los efectos asociados a la fase de operación de las hélices antiheladas, considerando que los equipos son móviles, se instalan de manera estacional y no requieren obras civiles permanentes de gran magnitud. En este contexto, el principal aspecto ambiental identificado corresponde a la emisión de ruido durante el funcionamiento nocturno, periodo en el que habitualmente ocurren los eventos de helada y se requiere operar los equipos.

Para analizar este aspecto, se considera los antecedentes del estudio técnico de ruido proporcionado por Zimex Smart Agro (2018), en el que se presentan niveles sonoros proyectados a diferentes distancias y alturas de funcionamiento. Estos antecedentes se contrastan con los límites de emisión de ruido establecidos en el Decreto Supremo N.º 38/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, considerando especialmente el horario nocturno.

De acuerdo a los resultados del estudio, los límites de referencia para el horario comprendido entre las 21:00 y las 07:00 horas son de 45 dB(A) para las zonas I y II, 50 dB(A) para la zona III y 70 dB(A) para la zona IV. La evaluación adquiere especial relevancia para las zonas rurales con presencia de viviendas cercanas, dado que la operación de los equipos puede extenderse durante varias horas de la noche.

Según los antecedentes incorporados en el estudio de ruido del proveedor concluye que los niveles proyectados permiten cumplir los límites considerados para las distancias evaluadas. Asimismo, se señala que el predio analizado se encuentra rodeado principalmente

de terrenos agrícolas y que no existiría una concentración habitacional próxima al lugar propuesto para instalar las hélices.

9.5.4. Discusión integrada de resultados

La integración de los resultados técnicos, económicos y ambientales permite evaluar la prefactibilidad de implementar un sistema automatizado de protección contra heladas mediante hélices portátiles en la plantación de naranjos de Pataguas Orillas. Los resultados muestran que la decisión no debe basarse exclusivamente en la capacidad nominal de los equipos o en los indicadores financieros del escenario base, sino en la relación entre la cobertura efectiva del cultivo, los beneficios productivos esperados, la inversión necesaria y las condiciones ambientales de operación.

Desde la perspectiva técnica, las simulaciones evidencian que una sola hélice 650 H no logra proteger la totalidad de las 6 hectáreas de naranjos en las ubicaciones analizadas, a pesar de que su cobertura nominal se aproxima a la superficie del predio. Este resultado demuestra la importancia de considerar la geometría irregular del terreno y la distribución real de la plantación durante la selección tecnológica. En contraste, dos hélices 250 H operando a 360° alcanzan una cobertura espacial estimada del 99,33%, con aproximadamente 400 m² sin cubrir. Por consiguiente, esta configuración presenta una ventaja técnica en términos de distribución espacial y adaptación a la superficie productiva.

Sin embargo, la superioridad geométrica de las dos unidades 250 H debe analizarse conjuntamente con su mayor costo de adquisición. Con un precio de referencia de USD 45.500 por unidad, la compra de dos equipos representa un valor de USD 91.000, mientras

que una unidad 650 H tiene un precio de referencia de USD 55.500. Por lo tanto, la alternativa seleccionada requiere un desembolso de adquisición superior en USD 35.500, antes de considerar eventuales diferencias en transporte, operación, mantenimiento y otros costos asociados. Esta diferencia hace necesario justificar la compra de dos unidades mediante la mayor cobertura efectiva que ofrecen, y no únicamente mediante su capacidad nominal.

En el ámbito económico, los resultados del caso base respaldan la conveniencia de adquirir dos hélices 250 H. El VAN positivo de $41.785.712, la TIR de 20,79% y el periodo de recuperación descontado de 5,27 años indican que la inversión genera valor bajo las condiciones establecidas en el flujo de caja. No obstante, estos indicadores dependen de los beneficios estimados por pérdidas productivas evitadas, de la eficiencia atribuida a las hélices y de los costos de operación considerados. En consecuencia, la viabilidad económica no puede separarse del desempeño técnico esperado

Esta relación se observa con mayor claridad en los escenarios de sensibilidad. Cuando la pérdida productiva sin protección disminuye al 30%, la eficiencia de las hélices al 75% y los costos aumentan un 20%, el proyecto obtiene un VAN negativo de $1.443.252. En condiciones más desfavorables, el VAN llega a -$39.808.471. Por el contrario, cuando la pérdida productiva alcanza el 50%, la eficiencia llega al 95% y los costos se mantienen, el VAN aumenta a $90.754.230. La amplitud de estos resultados demuestra que la conveniencia económica está condicionada por la severidad de las heladas, el daño que se evitaría efectivamente y la capacidad real del sistema para reducir las pérdidas.

Respecto de la tasa de descuento, el 10% real anual empleado en la evaluación permite comparar los flujos de caja futuros con la inversión inicial, incorporando el valor del dinero en el tiempo. Los resultados indican que el proyecto supera esta tasa en el escenario base, dado que la TIR alcanza el 20,79%. Sin embargo, debido a que la tasa se adoptó como supuesto de prefactibilidad y no a partir de información financiera específica del propietario, debe interpretarse como una rentabilidad mínima de referencia para el análisis, y no como una estimación definitiva de su costo de capital o rentabilidad exigida.

Desde el punto de vista ambiental, la movilidad de los equipos y la ausencia de obras civiles de gran magnitud favorecen su implementación en el predio. Aun así, el ruido nocturno constituye un aspecto relevante que debe verificarse en función de la ubicación definitiva de las hélices y de los posibles receptores cercanos. Por lo tanto, la compatibilidad ambiental preliminar debe complementarse con la revisión de las condiciones reales de operación y de los requisitos normativos aplicables. Sin embargo, el modelo de hélice cuenta con la certificación correspondiente por lo tanto no debería modificarse en gran manera a lo expuesto en este estudio.

En conjunto, los resultados permiten establecer que la alternativa de dos hélices 250 H operando a 360° presenta la mejor correspondencia entre la geometría del terreno y la superficie productiva que se busca proteger, mientras que la evaluación económica del caso base respalda su adquisición bajo los supuestos utilizados. Sin embargo, la sensibilidad de los indicadores frente a cambios en las pérdidas productivas, la eficiencia y los costos demuestra que esta conveniencia no es incondicional. La decisión final debe considerar tanto la ventaja de cobertura como la incertidumbre asociada al desempeño real de la tecnología y a la evolución de los costos y beneficios.

En consecuencia, el proyecto presenta prefactibilidad técnica, económica y ambiental bajo las condiciones evaluadas, pero su implementación debe quedar sujeta a la validación de los parámetros de funcionamiento, la revisión de la cobertura efectiva y la confirmación de los supuestos económicos más determinantes. De este modo, la evaluación integrada permite fundamentar la selección tecnológica sin presentar los resultados proyectados como garantías de desempeño o rentabilidad.

10. Conclusiones

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la prefactibilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de un sistema automatizado de protección contra heladas mediante hélices antiheladas en una plantación de naranjos de aproximadamente 6 hectáreas, ubicada en Pataguas Orillas, comuna de Pichidegua, Región de O'Higgins. A partir del análisis de las condiciones climáticas, los requerimientos técnicos de los equipos, las alternativas de distribución espacial, los indicadores económicos y los antecedentes ambientales, se concluye que la implementación de esta tecnología presenta condiciones favorables de prefactibilidad, aunque su conveniencia depende de la configuración seleccionada y del cumplimiento de los supuestos considerados en la evaluación.

En primer lugar, el análisis de las condiciones de heladas permitió reconocer la importancia de contar con medidas de protección que contribuyan a disminuir el riesgo de pérdidas productivas en el cultivo de naranjos. Las bajas temperaturas representan una amenaza para la producción y la calidad comercial de la fruta, especialmente cuando se alcanzan valores críticos durante etapas sensibles del desarrollo del cultivo. En este contexto, las hélices antiheladas constituyen una alternativa de protección activa, cuyo funcionamiento se basa en la circulación y mezcla de masas de aire para aprovechar las inversiones térmicas que se producen durante determinadas heladas.

En segundo lugar, la evaluación técnica demostró que la capacidad nominal de cobertura informada por el fabricante no garantiza, por sí sola, la protección efectiva de toda la superficie agrícola. Se determinó que una sola hélice modelo 650 H, pese a presentar una

cobertura nominal cercana a la superficie del predio, no logra proteger de manera satisfactoria la totalidad de la plantación debido a la geometría irregular del terreno y a la distribución real de los naranjos. En las configuraciones evaluadas, esta alternativa dejó entre aproximadamente 2 y 3 hectáreas sin cobertura efectiva. En cambio, la instalación de dos unidades del modelo Tow and Blow 250 H distribuidas en distintos sectores del huerto y operando a 360° alcanzó una cobertura estimada de 5,96 hectáreas, equivalente al 99,33% del terreno, con solo alrededor de 400 m² sin protección, equivalente al 0,67% de la superficie productiva. mientras que la configuración a 180° cubrió aproximadamente 5,81 hectáreas, correspondiente al 96,87 %. Por consiguiente, la alternativa de dos hélices 250 H operando a 360° obtuvo el mejor resultado espacial entre las configuraciones evaluadas. Por lo tanto, la selección tecnológica no debe basarse exclusivamente en la capacidad nominal declarada por el fabricante, sino en la cobertura efectiva que el equipo puede lograr sobre el terreno y el cultivo.

En relación con la operación del sistema, se propuso un encendido automático cuando la temperatura alcance 1 °C y un apagado a 2,5 °C. Esta configuración busca reducir el riesgo de activación tardía frente a un evento de helada y mantener el funcionamiento del equipo hasta que las condiciones térmicas se recuperen. No obstante, debe recordarse que las hélices antiheladas son especialmente efectivas en heladas radiativas, donde existe inversión térmica; su desempeño disminuye frente a heladas advectivas, ya que no disponen de una capa de aire más cálido en altura que pueda ser mezclada hacia el nivel del cultivo.

Desde la perspectiva económica, la alternativa seleccionada requiere una inversión inicial estimada en $88.679.410 CLP, correspondiente a dos hélices TOW and Blow 250 H

e incluye los costos de transporte considerados en el estudio. Para un horizonte de evaluación de 10 años, flujos expresados en pesos chilenos constantes y una tasa de descuento real de 10% anual, el caso base entregó un Valor Actual Neto positivo de $41.785.712, una Tasa Interna de Retorno de 20,79% y un período de recuperación simple de 3,89 años, un período de recuperación descontado de 5,27 años y un índice de rentabilidad de 1,47. Estos resultados indican que, bajo los supuestos utilizados, la inversión genera valor económico y supera la rentabilidad mínima de referencia establecida para la evaluación.

Sin embargo, la viabilidad económica del proyecto no es incondicional. El análisis de sensibilidad demostró que los resultados dependen principalmente de la magnitud de las pérdidas productivas que se evitarían con el sistema, de la eficiencia real de las hélices y del nivel de los costos de operación. En particular, cuando se combinan una pérdida productiva sin protección de 30%, una eficiencia de las hélices de 75% y un incremento de 20% en los costos operacionales, el VAN se vuelve negativo, alcanzando -$1.443.252. En escenarios más desfavorables, el VAN puede llegar a -$39.808.471. Por el contrario, ante una pérdida productiva de 50%, una eficiencia de 95% y costos operacionales sin variación, el VAN aumenta a $90.754.230.

Estos resultados evidencian que la rentabilidad del proyecto está estrechamente vinculada al desempeño técnico real del sistema. Una mayor cobertura no garantiza por sí sola la rentabilidad: esta depende de que las hélices efectivamente reduzcan las pérdidas esperadas y de que los costos de operación se mantengan dentro de los rangos proyectados. Por ello, antes de una eventual implementación definitiva, se recomienda validar en terreno

la eficiencia de protección, la cobertura efectiva, el consumo de combustible, los tiempos de operación y el comportamiento del sistema frente a eventos de helada reales.

En relación con la evaluación ambiental, el principal aspecto identificado corresponde a las emisiones de ruido durante la operación nocturna de los equipos, debido a que los eventos de heladas suelen presentarse durante la madrugada. Los antecedentes técnicos de ruido incorporados en el estudio indican que es posible cumplir los límites considerados en el Decreto Supremo N.º 38/2011 del Ministerio del Medio Ambiente para las distancias evaluadas. Además, el carácter móvil y estacional de los equipos reduce la necesidad de obras permanentes de gran magnitud.

En consecuencia, se concluye que la implementación de hélices antiheladas en la plantación estudiada es prefactible desde las perspectivas técnica, económica y ambiental, bajo las condiciones analizadas. Entre las alternativas evaluadas, la adquisición de dos unidades Tow & Blow 250 H operando a 360° presenta la mejor cobertura espacial simulada, mientras que la evaluación económica de compra muestra indicadores favorables en el escenario base.

Se recomienda, como siguiente etapa, realizar un estudio de factibilidad que incorpore mediciones de temperatura en distintas alturas del huerto, pruebas de operación de los equipos, monitoreo del consumo de combustible y un seguimiento de los daños efectivamente evitados durante al menos una temporada de heladas.

11. Referencias

Adonis, R. (noviembre 2016). *Heladas. Tipos, medidas de prevención y manejos posteriores al daño.*

Baca Urbina, Gabriel. (2016). Evaluación de Proyectos. McGrawHill Education,.

Banco Central de Chile, Vivanco, D., Camilo Levenier, & Dios Leiva, J. de. (2025). Contribución y perspectivas del sector agropecuario-silvícola en la actividad. *Banco Central de Chile*. https://www.bcentral.cl/w/contribucion-y-perspectivas-del-sector-agropecuario-silvicola-en-la-actividad

Blass Soluciones IOT. (2025). *Heladas y Ondas Polares en la Agricultura: Cómo Afectan los Cultivos y el Rol Clave de la Tecnología*. Blass Soluciones IOT. https://blasstech.cl/heladas-y-ondas-polares-en-la-agricultura-como-afectan-los-cultivos-y-el-rol-clave-de-la-tecnologia/

Bravo, R., Muñoz, M. y Quintana, J.(eds.). 2020. *Heladas. Factores atmosféricos, tendencias y efectos en frutales y vides*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín N° 417. 102 pp.

Cuevas, P. (2022). *El sector agropecuario representa el 6,9% de los empleos y el 75% son ejercidos por hombres*. Diario Financiero. https://www.df.cl/economia-y-politica/laboral-personas/el-sector-agropecuario-representa-el-6-9-de-los-empleos-y-el-75-son

Diepenbrock, L., Dewdney, M. & Vashisth, T. (2025). *Florida Citrus 2025–2026 Production Guide*. https://doi.org/10.32473/edis-cg095-2023

Dirección Meteorológica de Chile (2026). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2026

Dirección Meteorológica de Chile (2025). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2025

Dirección Meteorológica de Chile (2024). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2024

Dirección Meteorológica de Chile (2023). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2023

Dirección Meteorológica de Chile (2022). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2022

Dirección Meteorológica de Chile (2021). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122).

https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2021

Dirección Meteorológica de Chile (2020). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2020

Dirección Meteorológica de Chile (2019). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2019

Dirección Meteorológica de Chile (2018). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2018

Dirección Meteorológica de Chile (2017). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2017

Dirección Meteorológica de Chile (2016). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122). https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2016

Dirección Meteorológica de Chile (2015). Informe Anual – Monitoreo de heladas. Estación Las Cabras, Rapel (340122).

https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anualb/monitoreoHeladasEstacion/340122/2015

Fernández, X. (2024). *Modelo californiano y neozelandés*. *El Mercurio*. https://www.elmercurio.com/Campo/Especiales/heladas2016/06_modelocalifornianno.aspx

Fundación Terram. (2025). *Clima extremo daña la agricultura chilena: Cultivos afectados aumentaron 15% en dos años* –Terram.Cl. https://www.terram.cl/clima-extremo-dana-la-agricultura-chilena-cultivos-afectados-aumentaron-15-en-dos-anos/

FrostBoss(2021). *FrostBoss: Innovación y seguridad en el control de heladas en la producción frutícola.* Portal Frutícola.

Martínez, J., Otárola, A., y Carrasco, J. (2024). *Las heladas y su impacto en la agricultura (parte 1)*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional Rayentué.

Oñate, D. 2010. Ocurrencia de heladas tardías de incidencia Agrícola en la zona de Chillán (Ñuble). Memoria de título para optar al título de Ingeniero Civil Agrícola. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile. pp 66

Pascual Roca, M., Villar Mir, J., Rufat, J. (2023). Gestión de la protección frente a las heladas primaverales. Vida Rural, 2023, 530, Marzo, 16-24. https://hdl.handle.net/20.500.12327/2453

Portal Agro Chile. (2024, June 12). *Hélices para el Control de Heladas en el Agro: Revive webinar de Zimex - Portal Agro Chile*. Portal Agro Chile. https://www.portalagrochile.cl/2024/06/12/helices-para-el-control-de-heladas-en-el-agro-revive-webinar-de-zimex/

PROAIN Tecnología. (2020). *Efecto de las heladas en la agricultura*. https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/efecto-de-las-heladas-en-la-agricultura?srsltid=AfmBOorpuMdhFmVn5GDrlCQHOM1_hlPOoOU_B1QvEkHtOKo7_wKDtaSH

Sapag Chain, Nassir. (2007). Proyectos de inversión: Pearson Educación.

SENAPRED (2025). *Heladas.* Servicio nacional de prevención y respuesta ante desastres. https://www.senapred.cl/heladas/

Snyder, R. L., & de Melo-Abreu, J. P. (2010). *Protección contra las heladas: Fundamentos, práctica y economía* (Vol. 1). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Tadi´c, V.; Gligorevi´c, K.; Mileusni´c, Z.; Miodragovi´c, R.; Hajmiler, M.; Radoˇcaj, D. Agricultural Engineering Technologies in the Control of Frost Damage in Permanent Plantations. AgriEngineering 2023, 5, 2079–2111. https://doi.org/10.3390/agriengineering5040128

Trading Economics. (2025, diciembre). *PIB de Chile del sector agrícola*. Trading Economics. Recuperado el 15 de junio de 2026, de https://es.tradingeconomics.com/chile/gdp-from-agriculture

Zimex smart agro. (2024). *Hélices Portátiles Control de Heladas Tow and Blow, nuevo 650H con motor KUBOTA* -. Zimex Smart Agro. https://zimex.cl/helices-portatiles-control-de-heladas-tow-and-blow-nuevo-650h-con-motor-kubota/

Zimex Smart Agro (2018). Estudio de propagación de ruido hélice portátil para control de heladas. https://zimex.cl/wp-content/uploads/2018/07/helice-control-heladas-tow-blow-informe-tecnico-estudio-ruido-zimex.pdf

12. Anexo

Anexo 1. *Tabla 35: Registro de Heladas periodo 2015-20269*

N°	Fecha	Minima Absoluta	Hora de la minima absoluta (UTC)	Hora con temperaturas bajo 0°C	Porcentaje de datos disponibles(%)
1	01-06-2025	-0.4	11:00	0.13	6.7
2	10-06-2025	-1	12:00	0.3	6.6
3	14-06-2025	-0.4	12:00	0.13	6.7
4	19-06-2025	-0.1	10:30	0.07	6.7
5	20-06-2025	-1.4	11:00	0.35	6.6
6	24-06-2025	-0.1	12:15	0.02	6.7
7	29-06-2025	-1.4	10:15	0.43	6.7
8	30-06-2025	-3.8	8:45	0.77	6.7
9	11-07-2025	-0.9	11:00	0.32	6.7
10	12-07-2025	-1.7	12:00	0.52	6.7
11	17-07-2025	-0.3	9:00	0.1	6.7
12	23-08-2025	-0.2	9:30	0.1	6.6
1	03-05-2024	-0.1	10:45	0.02	6.1
2	09-05-2024	-0.1	11:45	0.03	6.5
3	13-05-2024	-1.6	11:15	0.32	6.5
4	14-05-2024	-2.4	12:00	0.53	6.5
5	15-05-2024	-0.3	8:30	0.17	6.5
6	16-05-2024	0	11:45	0.02	6.5
7	17-05-2024	-1.9	10:30	0.42	6.5
8	18-05-2024	-0.9	11:00	0.3	6.4
9	19-05-2024	-1.1	11:45	0.27	6.5
10	05-07-2024	-2.1	11:30	0.5	6.5

11	06-07-2024	-2.2	9:45	0.6	6.5
12	07-07-2024	-2.3	10:45	0.38	6.5
13	08-07-2024	-3	11:00	0.7	6.5
14	09-07-2024	-2.3	8:00	0.7	6.5
15	11-07-2024	-1.9	10:45	0.5	6.3
16	12-07-2024	-2.9	9:00	0.67	6.5
17	13-07-2024	-0.4	6:15	0.1	6.3
18	27-07-2024	-0.2	12:00	0.02	6.4
19	28-07-2024	-1.9	11:30	0.47	6.1
20	29-07-2024	-1.3	10:45	0.35	6.3
21	07-08-2024	-0.1	11:45	0.02	6.3
22	08-08-2024	-0.8	11:15	0.17	6.3
23	09-08-2024	-0.6	11:45	0.1	6.3
24	21-08-2024	-0.6	11:30	0.2	6.4
25	24-08-2024	-0.1	11:15	0.07	6.4
1	13-06-2023	-1.9	12:30	0.5	5.5
2	14-06-2023	-1.7	13:00	0.43	6.6
1	15-05-2022	-0.2	11:15	0.03	6.7
2	30-05-2022	-3.7	9:45	0.72	6.7
3	31-05-2022	-5	12:00	0.82	6.7
4	01-06-2022	-3.9	11:30	0.78	6.7
5	11-06-2022	-0.2	11:30	0.13	6.7
6	18-06-2022	-0.3	11:45	0.03	6.7
7	04-07-2022	-0.6	12:15	0.2	6.7
8	05-07-2022	-0.3	12:15	0.1	6.7

9	29-07-2022	0	10:45	0.02	6.7
10	03-08-2022	-0.1	11:15	0.07	6.6
11	04-08-2022	-0.8	11:30	0.15	6.7
12	05-08-2022	-0.8	11:00	0.18	6.7
13	09-08-2022	-0.6	11:45	0.18	6.7
14	18-08-2022	-0.3	11:00	0.05	6.7
15	21-09-2022	-0.3	11:15	0.05	6.7
1	11-05-2021	-0.3	12:15	0.05	6.7
2	23-05-2021	-1.3	12:45	0.27	6.6
3	27-06-2021	-2	10:45	0.38	6.7
4	28-06-2021	-3.4	12:00	0.72	6.7
5	29-06-2021	-3.2	10:15	0.68	6.7
6	02-07-2021	-0.5	9:45	0.22	6.7
7	03-07-2021	-1.5	12:45	0.32	6.7
8	04-07-2021	-2.7	11:00	0.62	6.7
9	05-07-2021	-2.1	12:30	0.52	6.7
10	07-07-2021	-0.2	12:15	0.02	6.7
11	08-07-2021	-0.7	12:30	0.17	6.7
12	11-07-2021	-2	12:45	0.53	6.7
13	13-07-2021	-0.9	11:00	0.38	6.7
14	14-07-2021	-1.1	8:30	0.35	6.7
15	15-07-2021	-1.5	5:00	0.2	6.7
16	16-07-2021	-0.6	13:00	0.07	6.7
17	17-07-2021	-1.8	12:00	0.32	6.7
18	18-07-2021	-4.4	12:45	0.65	6.7
19	19-07-2021	-1.8	9:30	0.53	6.7

20	20-07-2021	-1.1	12:45	0.23	6.6
21	28-07-2021	-1.9	11:45	0.48	6.7
22	29-07-2021	-2.2	12:30	0.35	6.7
23	01-08-2021	-0.8	12:15	0.18	6.6
24	10-08-2021	-0.6	12:30	0.15	6.7
25	11-08-2021	-1.3	11:45	0.32	6.7
26	14-08-2021	-1.8	12:45	0.47	6.7
1	05-06-2020	-0.4	9:45	0.27	6.7
2	06-06-2020	-0.8	11:30	0.18	6.7
3	07-06-2020	-0.3	11:30	0.2	6.7
4	10-06-2020	-1.9	11:15	0.35	6.7
5	11-06-2020	-2.3	9:00	0.52	6.7
6	14-06-2020	-1.3	12:00	0.28	6.7
1	11-05-2019	-0.4	11:00	0.1	6.7
2	22-05-2019	-1.2	10:30	0.33	6.7
3	23-05-2019	-1.4	11:00	0.4	6.7
4	08-06-2019	-0.3	11:15	0.07	6.7
5	09-06-2019	-1.1	11:30	0.17	6.7
6	22-06-2019	-0.1	12:15	0.02	6.7
7	25-06-2019	-2.4	9:45	0.62	6.7
8	02-07-2019	-1.9	11:30	0.37	6.7
9	03-07-2019	-0.2	12:15	0.03	6.7
10	05-07-2019	-0.7	11:45	0.15	6.7
11	13-07-2019	0	10:15	0.02	6.7
12	14-07-2019	0	7:15	0.02	6.7

13	15-07-2019	-1.1	11:45	0.12	6.7
14	16-07-2019	-0.3	9:45	0.07	6.7
15	22-07-2019	-0.4	9:15	0.15	6.7
16	23-07-2019	-1.8	10:45	0.27	6.7
17	24-07-2019	-1.2	8:15	0.55	6.7
18	03-08-2019	-0.3	10:30	0.02	6.7
19	08-08-2019	-2.3	11:00	0.35	6.7
20	09-08-2019	-1.3	11:15	0.2	6.7
21	10-08-2019	-0.4	9:00	0.02	6.7
22	11-08-2019	-0.4	11:30	0.02	6.7
23	12-08-2019	-1	10:45	0.22	6.7
24	13-08-2019	-2.4	11:30	0.3	6.7
25	02-09-2019	-0.8	11:00	0.1	6.7
26	03-09-2019	-0.3	11:30	0.05	6.7
1	20-05-2018	-0.6	9:45	0.17	6.7
2	23-05-2018	-2.8	11:45	0.52	6.7
3	24-05-2018	-3	11:15	0.52	6.7
4	25-05-2018	-2.1	11:30	0.28	6.7
5	01-06-2018	-0.6	6:45	0.12	6.7
6	02-06-2018	-1.3	7:30	0.4	6.7
7	04-06-2018	-2.1	10:15	0.42	6.7
8	05-06-2018	-2.2	8:30	0.62	6.7
9	06-06-2018	-1.1	11:00	0.22	6.7
10	07-06-2018	-0.2	10:00	0.05	6.7
11	12-06-2018	-0.2	11:45	0.12	6.7
12	13-06-2018	-2.4	9:45	0.63	6.7

13	14-06-2018	-1.9	11:30	0.33	6.7
14	23-06-2018	-0.4	12:30	0.22	6.7
15	19-07-2018	-2.5	11:00	0.55	6.7
16	20-07-2018	-2.1	11:15	0.4	6.7
17	21-07-2018	-0.7	7:45	0.13	6.7
18	23-07-2018	-2.7	12:00	0.4	6.7
19	24-07-2018	-2.8	11:30	0.62	6.7
20	25-07-2018	-0.4	9:45	0.23	6.7
21	28-07-2018	-0.7	12:00	0.18	6.7
22	29-07-2018	-0.1	11:15	0.05	6.7
23	30-07-2018	-1.3	10:45	0.32	6.7
24	31-07-2018	-2.6	11:15	0.48	6.7
25	01-08-2018	-2	11:30	0.43	6.7
26	02-08-2018	-1.1	8:00	0.17	6.7
27	04-08-2018	-0.6	10:00	0.17	6.7
28	19-08-2018	-0.4	12:45	0.07	6.7
29	24-08-2018	-0.8	11:30	0.27	6.7
1	04-06-2017	-0.6	12:00	0.17	6.7
2	05-06-2017	-0.3	9:15	0.1	6.7
3	06-06-2017	-4	11:30	0.63	6.7
4	07-06-2017	-1.8	8:15	0.42	6.7
5	18-06-2017	-1	11:45	0.22	6.7
6	19-06-2017	-1.8	9:45	0.55	6.7
7	17-07-2017	-2.4	12:15	0.48	6.7
8	18-07-2017	-0.9	11:45	0.2	6.7
9	26-07-2017	-0.4	11:30	0.2	6.7

10	30-07-2017	-0.7	11:30	0.15	6.7
11	03-08-2017	-0.1	11:45	0.05	6.7
1	07-06-2016	-0.7	12:00	0.37	6.7
2	08-06-2016	-1.1	10:00	0.27	6.7
3	09-06-2016	0	8:30	0.03	6.7
4	10-06-2016	-1.1	10:45	0.47	6.7
5	11-06-2016	-1.6	8:15	0.53	6.7
6	16-06-2016	-0.9	12:15	0.23	6.7
7	17-06-2016	-0.9	9:45	0.45	6.7
8	05-07-2016	-0.3	11:15	0.12	6.7
9	07-07-2016	-1.4	10:45	0.43	6.7
10	08-07-2016	-0.4	7:00	0.02	6.7
1	23-05-2015	-0.2	10:30	0.1	6.7
2	25-05-2015	-1.1	7:45	0.27	6.7
3	26-05-2015	-2	11:00	0.25	6.7
4	27-05-2015	-1	10:15	0.17	6.7
5	23-06-2015	-1.6	11:15	0.57	6.7
6	29-06-2015	-1.5	9:45	0.52	6.7
7	04-07-2015	-2.1	7:15	0.48	6.7
8	07-07-2015	-0.1	7:45	0.02	6.7
9	14-07-2015	-0.8	12:45	0.12	6.7
10	21-07-2015	-2.1	8:15	0.85	6.7
11	22-07-2015	-0.1	5:45	0.17	6.7
12	11-09-2015	-0.7	12:15	0.18	6.7
1	18-05-2026	-1.7	11:30	0.25	6.7
2	19-05-2026	-2.4	12:00	0.4	6.6

3	24-05-2026	-0.4	6:00	0.08	6.7
4	25-05-2026	-1.5	11:45	0.35	6.7
5	26-05-2026	-1.3	11:45	0.32	6.7
6	21-06-2026	-1	11:45	0.1	6.6
7	22-06-2026	-2.1	11:45	0.43	6.7
8	23-06-2026	-2.1	12:00	0.42	6.7
9	25-06-2026	-1.9	12:15	0.57	6.6
10	26-06-2026	-0.1	12:15	0.02	6.7
11	28-06-2026	-2.4	12:15	0.47	6.6
12	29-06-2026	-2.6	12:15	0.32	6.7
13	30-06-2026	-3.6	11:45	0.5	6.7
14	01-07-2026	-3.9	10:30	0.68	6.7
15	02-07-2026	-4.3	10:45	0.8	6.7
16	03-07-2026	-3.9	10:30	0.75	6.6
17	04-07-2026	-4.3	12:15	0.62	6.7
18	06-07-2026	-3.8	11:30	0.53	6.3
19	09-08-2026	-0.4	11:45	0.12	6.6
20	11-08-2026	-0.1	11:00	0.03	6.7
21	12-08-2026	-0.3	11:30	0.07	6.7

Fuente: Elaboración propia

Anexo2. *Tabla 36: Mínima absoluta mensual periodo 2020-2025*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre

2025	9	7.6	6.1	2.2	0.1	-3.8	-1.7	-0.2	0.2	3.7	6.1	7.7
2024	8.6	9.8	5.5	1.6	-2.4	1.2	-3	-0.8	1.2	3.6	3.4	6.1
2022	5.8	6.9	1.5	1.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-0.3	2.8	3.2	7.2
2021	7.4	8.6	4.7	2.8	-0.3	4.2	-4.4	-0.6	1.2	2.6	4.9	6.9
2020	8.4	7	6.3	0.5	0.3	-1.9	.	.	.	1.1	6.1	7.9

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Cotización equipos



Jorge Dutrey <jorge@zimex.cl>
para mí, Pier

Hola Claudia.

El valor de equipo nuevo según modelo es
USD 45.500 modelo TBD 250 H - cobertura 4-5 Hectáreas.
USD 55.500 modelo TBD 650 H - cobertura 5-6 Hectáreas.
La Mantencion anual tiene un costo de USD 400.
También estos equipos se pueden arrendar al ser un activo móvil el costo es USD 7.000-8.000 mensual entre Mayo y Octubre.
La mayor parte de los productores los financian vía leasing Bancario con opción de financiamiento hasta 100% a 4 años plazo.

Saludos cordiales,

Jorge Dutrey Ossa
Gerente Técnico - Comercial
+569 - 3455 8331
www.zimex.cl

Figura 33: Cotización equipos

Anexo 4. Flujo de caja, daño 30%

Ítem / Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	$ -	$ 23,419,200	$ 22,603,041	$ 21,815,325	$ 21,055,061	$ 20,321,292	$ 19,613,095	$ 18,929,579	$ 18,269,883	$ 17,633,177	$ 17,018,661
Costos Operacionales											
Combustible	$ -	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000
Mantención	$ -	$ -778,808	$ -778,808	$ -778,808	$ -778,808	$ -778,808	$ -778,808	$ -778,808	$ -778,808	$ -778,808	$ -778,808
Total Costos	$ -	$ -1,688,808	$ -1,688,808	$ -1,688,808	$ -1,688,808	$ -1,688,808	$ -1,688,808	$ -1,688,808	$ -1,688,808	$ -1,688,808	$ -1,688,808
EBITDA	$ -	$ 21,730,392	$ 20,914,233	$ 20,126,517	$ 19,366,253	$ 18,632,484	$ 17,924,287	$ 17,240,771	$ 16,581,075	$ 15,944,369	$ 15,329,853
Depreciación (-)	$ -	$ -8,867,941	$ -8,867,941	$ -8,867,941	$ -8,867,941	$ -8,867,941	$ -8,867,941	$ -8,867,941	$ -8,867,941	$ -8,867,941	$ -8,867,941
EBIT	$ -	$ 12,862,451	$ 12,046,292	$ 11,258,576	$ 10,498,312	$ 9,764,543	$ 9,056,346	$ 8,372,830	$ 7,713,134	$ 7,076,428	$ 6,461,912
Impuesto	$ -	$ -3,472,862	$ -3,252,499	$ -3,039,815	$ -2,834,544	$ -2,636,427	$ -2,445,213	$ -2,260,664	$ -2,082,546	$ -1,910,636	$ -1,744,716
Utilidad después del impuesto	$ -	$ 9,389,589	$ 8,793,793	$ 8,218,760	$ 7,663,768	$ 7,128,116	$ 6,611,133	$ 6,112,166	$ 5,630,588	$ 5,165,793	$ 4,717,196
Depreciación (+)		$ 8,867,941	$ 8,867,941	$ 8,867,941	$ 8,867,941	$ 8,867,941	$ 8,867,941	$ 8,867,941	$ 8,867,941	$ 8,867,941	$ 8,867,941
Inversión inicial	$ -88,679,410	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Flujo de caja neto	$ -88,679,410	$ 18,257,530	$ 17,661,734	$ 17,086,701	$ 16,531,709	$ 15,996,057	$ 15,479,074	$ 14,980,107	$ 14,498,529	$ 14,033,734	$ 13,585,137
Flujo de caja acumulado	$ -88,679,410	$ -70,421,880	$ -52,760,146	$ -35,673,444	$ -19,141,736	$ -3,145,678	$ 12,333,395	$ 27,313,502	$ 41,812,030	$ 55,845,764	$ 69,430,901
Flujo descontado	$ -88,679,410	$ 16,597,755	$ 14,596,474	$ 12,837,492	$ 11,291,379	$ 9,932,293	$ 8,737,533	$ 7,687,163	$ 6,763,671	$ 5,951,673	$ 5,237,658
Flujo descuento acumulado	$ -88,679,410	$ -72,081,655	$ -57,485,181	$ -44,647,689	$ -33,356,310	$ -23,424,017	$ -14,686,483	$ -6,999,320	$ -235,649	$ 5,716,024	$ 10,953,682

Anexo 4: Flujo de caja, escenario arriendo de equipos

Ítem / Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	$ -	$ 31,225,600	$ 30,137,388	$ 29,087,100	$ 28,073,414	$ 27,095,056	$ 26,150,793	$ 25,239,438	$ 24,359,844	$ 23,510,903	$ 22,691,548
Costos Operacionales											
Combustible	$ -	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000	$ -910,000
Arriendo	$ -	$ -54,516,560	$ -54,516,560	$ -54,516,560	$ -54,516,560	$ -54,516,560	$ -54,516,560	$ -54,516,560	$ -54,516,560	$ -54,516,560	$ -54,516,560
Total Costos	$ -	$ -55,426,560	$ -55,426,560	$ -55,426,560	$ -55,426,560	$ -55,426,560	$ -55,426,560	$ -55,426,560	$ -55,426,560	$ -55,426,560	$ -55,426,560
EBITDA	$ -	$ -24,200,960	$ -25,289,172	$ -26,339,460	$ -27,353,146	$ -28,331,504	$ -29,275,767	$ -30,187,122	$ -31,066,716	$ -31,915,657	$ -32,735,012
Depreciación (-)	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
EBIT	$ -	$ -24,200,960	$ -25,289,172	$ -26,339,460	$ -27,353,146	$ -28,331,504	$ -29,275,767	$ -30,187,122	$ -31,066,716	$ -31,915,657	$ -32,735,012
Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Utilidad después del impuesto	$ -	$ -24,200,960	$ -25,289,172	$ -26,339,460	$ -27,353,146	$ -28,331,504	$ -29,275,767	$ -30,187,122	$ -31,066,716	$ -31,915,657	$ -32,735,012
Depreciación (+)		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Inversión inicial	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Flujo de caja neto	$ -	$ -24,200,960	$ -25,289,172	$ -26,339,460	$ -27,353,146	$ -28,331,504	$ -29,275,767	$ -30,187,122	$ -31,066,716	$ -31,915,657	$ -32,735,012
Flujo de caja acumulado	$ -	$ -24,200,960	$ -49,490,132	$ -75,829,592	$ -103,182,738	$ -131,514,242	$ -160,790,009	$ -190,977,131	$ -222,043,847	$ -253,959,504	$ -286,694,516
Flujo descontado	$ -	$ -22,000,873	$ -20,900,142	$ -19,789,226	$ -18,682,566	$ -17,591,635	$ -16,525,407	$ -15,490,767	$ -14,492,852	$ -13,535,354	$ -12,620,764
Flujo descuento acumulado	$ -	$ -22,000,873	$ -42,901,015	$ -62,690,241	$ -81,372,808	$ -98,964,443	$ -115,489,850	$ -130,980,616	$ -145,473,469	$ -159,008,823	$ -171,629,587