

I

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRE-FRÍO EN CEREZAS LAPINS Y
SWEET HEART UTILIZANDO UN INTERCAMBIADOR
GEOTÉRMICO DE BAJA ENTALPÍA, EN EL PREDIO SANTA
ELENA EN LA REGIÓN DE ÑUBLE**

FELIPE IGNACIO RAMOS PENROZ

TRABAJO DE HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN, PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL.

CHILLÁN – CHILE

2022

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRE-FRÍO EN CEREZAS LAPINS Y SWEET
HEART UTILIZANDO UN INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO DE BAJA
ENTALPÍA, EN EL PREDIO SANTA ELENA EN LA REGIÓN DE ÑUBLE.**

Aprobado por:

Juan Antonio Cañumir Veas.
Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc. Ph. D.
Profesor Asociado.

Profesor Guía

Ana María Aguilar Bazignan.
Ingeniero Constructor, Mg.
Profesor Asistente.

Profesor Asesor

Gastón Ignacio Merlet Venturelli.
Ingeniero de Ejecución en Química, Mg. Cs. D.
Profesor Asistente.

Profesor Asesor

Elena Yáñez Cofré.
Ingeniero Agrónomo.
Profesor Invitado

Profesor Asesor

Arturo Yáñez Cofré.
Empresario.
Profesor Invitado.

Profesor Asesor

Christian Gabriel Folch Cano.
Profesor de Química y Cs. Naturales. D.
Profesor Asociado.

Director de Departamento

María Eugenia Gonzales Rodríguez.
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesor Asociado.

Decana

ÍNDICE DE MATERIAS

RESUMEN	1
SUMMARY	3
I. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Objetivos.....	10
1.1.1. Objetivo general.....	10
1.1.2. Objetivos específicos.....	10
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
2.1. Descripción del predio Santa Elena.....	11
2.2. Análisis del proceso de cosecha y la disposición de las bandejas	11
2.3. Tiempos en la cosecha.....	11
2.4. Determinación de temperatura en la cosecha	12
2.5. Determinación de la producción de fruta diaria y almacenamiento	12
2.6. Tabulación de datos históricos meteorológicos que afectan al predio Santa Elena.....	12
2.7. Análisis de la temperatura ambiental durante la cosecha.....	13
2.8. Caracterización del tipo de suelo.....	13
2.9. Determinación de la ubicación de la cámara de pre-frío.....	13
2.10. Determinación de las dimensiones de la cámara de pre-frío.....	14
2.11. Materiales de construcción de la cámara de pre-frío.....	14

2.12. Determinar las dimensiones del intercambiador geotérmico de calor.....	14
2.13. Determinar la disposición de los conductos.....	18
2.14. Layout del sistema.....	18
III.RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	19
3.1. Descripción del predio Santa Elena.....	19
3.2. Análisis del proceso de cosecha y la disposición de las bandejas	20
3.4. Determinación de temperatura en la cosecha	24
3.5. Determinación de la producción de fruta diaria y almacenamiento	27
3.6. Tabulación de datos históricos meteorológicos que afectan al predio Santa Elena.....	28
3.7. Análisis de la temperatura ambiental durante la cosecha.....	31
3.8. Caracterización del tipo de suelo.....	35
3.9. Determinación de la ubicación de la cámara de pre-frío.....	36
3.10. Determinación de las dimensiones de la cámara de pre-frío.....	36
3.11. Materiales de construcción de la cámara de pre-frío.....	37
3.12. Determinar las dimensiones del intercambiador geotérmico de calor.....	39
3.13. Determinar la disposición de los conductos.....	41
3.14. Layout del sistema.....	42
IV. CONCLUSIONES	45

V. BIBLIOGRAFÍA 46

VI. APÉNDICE..... 48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Superficie total de huertos de frutales predominantes en la Región de Ñuble (ha).....	5
Tabla 2.	Producción promedia por hectáreas de cerezas Lapins, Corazón de Paloma y Sweet Heart en la Región de Ñuble.....	6
Tabla 3.	Tiempo (min y s) empleado por un cosechero, en desprender el fruto hasta depositar el tótem en la estación de control de calidad en diferentes días y el promedio por días y horas.....	23
Tabla 4.	Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 27 de diciembre para variedad Lapins y sus respectivos promedios.....	25
Tabla 5.	Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 31 de diciembre para variedad Sweet Heart y sus respectivos promedios.....	25
Tabla 6.	Capacidad en la zona de carga de bins más tótems con fruta cosechada (kg) y cargada en los camiones, camión con rampla y camión frigorífico.....	28
Tabla 7.	Temperaturas (°C) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 27 de diciembre para variedad Lapins.....	32
Tabla 8.	Temperaturas (°C) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 30 de diciembre para variedad Sweet Heart.....	32

Tabla 9. Datos para la determinación de las dimensiones del intercambiador de calor.....	39
Tabla 10. Datos sacados de la tabla psicrométrica para temperatura y humedad relativa.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Participación de Chile en el total de cerezas Importadas a China (%) (Redagrícola. 2020).....	4
Figura 2.	Esquema del funcionamiento de un intercambiador geotérmico de baja entalpía para casas habitacionelas a replicar en el diseño propuesto.....	9
Figura 3.	Imagen satelital del predio Santa Elena ubicado en el sector las Tijeras, coordenadas; 36°37'59"S-71°54'00"W.....	19
Figura 4.	Imagen satelital del predio Santa Elena de la superficie de cerezas para las variedades Sweet Heart y Lapins.....	19
Figura 5.	Zona de carga en el interior del predio Santa Elena y la distribución de tótems en los bins ya cargados al camión con rampla	22
Figura 6.	Estación de control de calidad que se encuentra en la entre hileras, en el predio Santa Elena.....	22
Figura 7.	Temperatura interna (°C) del fruto cuando se encuentra en el árbol medida con el termómetro digital UEI DT130.....	26
Figura 8.	Temperatura interna (°C) del fruto cuando se encuentra en la entre hileras medida con el termómetro digital UEI DT130.....	26
Figura 9.	Humedad relativa promedio en quincenas por temporadas, a diferentes horas dentro de la cosecha y la humedad relativa máxima.....	29
Figura 10.	Temperatura ambiental promedio en quincenas por temporadas, a diferentes horas dentro de la cosecha y la temperatura máxima.....	30

Figura 11. Temperaturas máximas por temporadas de cosecha en el predio Santa Elena, a diferentes horas dentro de la cosecha.....	30
Figura 12. Promedio de la velocidad media del viento por temporadas en el predio Santa Elena.....	31
Figura 13. Estación meteorológica DAVISI Vantage VUE que se encuentra en el interior del predio Santa Elena.....	31
Figura 14. Comparación de humedad relativa históricas recopiladas en la base de datos con la humedad relativa medidas en terreno durante la cosecha a las 12:00pm.....	33
Figura 15. Comparación de temperaturas históricas recopiladas en la base de datos con temperaturas medidas en terreno durante la cosecha a las 12:00pm.....	34
Figura 16. Imagen de la zona de carga en el interior del predio Santa Elena y de la ubicación que tendrá la cámara de pre-frío.....	36
Figura 17. Aislación típica de un tabique perimetral. Fuente: Corma (Corporación Nacional de la Madera).....	37
Figura 18. Colocación del material aislante que debe ser continuo, para evitar pérdidas de calor. Fuente: Corma (Corporación Nacional de la Madera).....	38
Figura 19. Vista de la composición del radier. Fuente: Corma.....	38
Figura 20. Diagrama de la distribución de la tubería para el intercambiador geotérmico de calor. Fuente: elaboración propia.....	42
Figura 21. Vista 3D con el programa REVIT de la cámara de pre-frío.....	43

Figura 22. Vista 3D con el programa REVIT de la disposición de la tubería para el intercambiador geotérmico de calor en el subsuelo.....	43
Figura 23. Plano arquitectónico del diseño de la cámara de pre-frío, con sus respectivas medidas.....	44

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Formula para encontrar el caudal que pasa por el intercambiador geotérmico.....	15
Ecuación 2.	Determinación del área de la tubería.....	15
Ecuación 3.	Determinación de la temperatura media que pasa por el intercambiador.....	15
Ecuación 4.	Cálculo de la resistencia térmica del conducto.....	16
Ecuación 5.	Formula de la resistencia por conducción.....	16
Ecuación 6.	Formula de la resistencia por convección.....	16
Ecuación 7.	Cálculo del flujo de calor medio por los conductos.....	16
Ecuación 8.	Determinación de la energía que se debe eliminar del aire.....	16
Ecuación 9.	Ecuación del calor específico.....	17
Ecuación 10.	Cálculo de la energía total a eliminar.....	17
Ecuación 11.	Determinación de la superficie del intercambiador.....	17
Ecuación 12.	Determinación del largo del intercambiador.....	17

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRE-FRÍO EN CEREZAS LAPINS Y SWEET HEART UTILIZANDO UN INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO DE BAJA ENTALPÍA, EN EL PREDIO SANTA ELENA EN LA REGIÓN DE ÑUBLE.

DESIGN OF A PRE-COOLING SYSTEM FOR LAPINS AND SWEET HEART CHERRIES USING A LOW ENTHALPY GEOTHERMAL EXCHANGER AT THE SANTA ELENA FARM IN THE ÑUBLE REGION.

Palabras índices adicionales: Intercambiador geotérmico de baja entalpia, temperatura de campo, cámara de pre-frío.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo de diseñar un sistema de pre-frío en huerto para cerezas Lapins y Sweet Heart utilizando un intercambiador geotérmico de baja entalpia, en el predio Santa Elena con lo cual se quiere dar una solución al problema del descenso progresivo de la temperatura de campo que emite las cerezas una vez que son cosechadas. Para esto fue necesario analizar los manejos de los frutos durante la cosecha que tienen implementados en el predio para bajar la temperatura de campo y medir con una termocupla tipo T y un termómetro digital UEI DT130 en el fruto las temperaturas que alcanzaban una vez que se cosechaba el fruto. Lo que permitió identificar la importancia que representa la hora de cosecha, ya que desde las 10:00 am hasta las 1:00 pm la temperatura interna del fruto, sobrepasó los 20 °C llegando hasta los 35°C.

El diseño propuesto cumple con la remoción de temperatura de campo y en base a los cálculos realizados y resultados obtenidos con un largo de 208m para el intercambiador de calor, lo que permite climatizar la cámara de pre-frío.

**DESIGN OF A PRE-COOLING SYSTEM FOR LAPINS AND SWEET HEART
CHERRIES USING A LOW ENTHALPY GEOTHERMAL EXCHANGER AT
THE SANTA ELENA FARM IN THE ÑUBLE REGION.**

Keywords: Low enthalpy geothermal exchanger, field temperature, pre-cooling chamber.

SUMMARY

The goal of this project is to design a pre-cooling system in the orchard for Lapins and Sweet Heart cherries using a low enthalpy geothermal exchanger, in the Santa Elena farm, in order to solve the problem of the progressive decrease in the field temperature of the cherries once they are harvested. For this, it was necessary to analyze the handling of the fruit during the harvest that has been implemented on the farm to lower the field temperature and measure with a thermocouple in the fruit the temperatures reached once the fruit was harvested. This made it possible to identify the importance of the harvest time, since from 10:00 am to 1:00 pm the internal temperature of the fruit exceeded 20°C, reaching 35°C.

The proposed design complies with the removal of field temperature and based on the calculations made and results obtained with a length of 208m for the heat exchanger, which allows air conditioning the precooling chamber.

I. INTRODUCCIÓN

La cereza hoy en día es uno de los productos estrellas para las agroexportaciones de Chile. En cada temporada el mercado está siendo más exigente con la calidad de la fruta, como por ejemplo China. Como se ve en la Figura 1, China es uno de los principales países que es abastecido de productores y exportadores de cereza de distintas partes del mundo, siendo Chile el principal exportador.

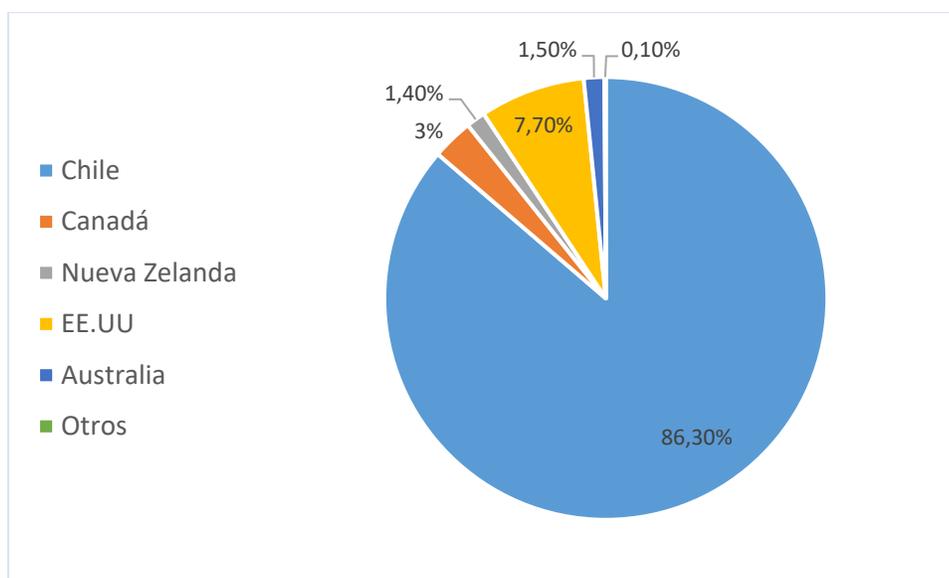


Figura 1. Participación de Chile en el total de cerezas Importadas a China (%) (Redagrícola. 2020).

En el hemisferio sur, Chile se ha posicionado como el principal exportador de cerezas. Estimaciones de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), dicen que en Chile el cultivo de cerezas cubre una superficie de alrededor de 6 mil hectáreas, concentrándose el 98% entre las regiones Metropolitana y Biobío, con una superficie de 691ha plantadas en la región del Biobío incluyendo lo que es hoy la región de Ñuble (Ferrada y Dellinger, 2003).

Los datos actuales separando las regiones del Biobío y de Ñuble, dan como mayor superficie de huertos de frutales a la nueva Región de Ñuble con 5.565ha y a la Región del Biobío con 4.149ha. Estableciéndose en primer lugar a las cerezas, con la mayor superficie de frutales plantadas (1.229,6ha) en Ñuble (González, 2020).

Tabla 1. Superficie total de huertos de frutales predominantes en la Región de Ñuble (ha).

Especies	Hectáreas	%
Cerezo	1.299,6	23,35
Nogal	1.135,8	20,41
Manzano Rojo	807,0	14,50
Avellano	759,2	13,64
Castaño	689,7	12,39
Kiwi	460,4	8,27
Manzano Verde	117,1	2,10
Peral	87,2	1,57
Olivo	84,6	1,52
Pera Asiática	40,6	0,73
Otros	83,7	1,50
Total	5.654,9	100

Fuente: Elaboración propia con información de ODEPA/CIREN (2019).

Los dos puntos más importantes para mantener la calidad y conservación de la cereza, es el estado de madurez en el momento de la cosecha y el manejo durante la post cosecha, en especial de temperatura y humedad ambiental. Las cerezas son frutos no climatéricos, por eso es que se debe cosechar, cuando estas alcanzan las características organolépticas deseadas. Los índices de cosecha más adecuados para iniciar la cosecha son, el color de la epidermis y el contenido de sólidos solubles (azúcares) (Candan, 2006).

Las variedades de cerezas que se cultivan en Chile, se caracterizan por ser en su mayoría frutos de color rojo oscuro y en una menor parte bicoloradas. Las principales variedades que predominaban la zona central del país eran; Bing, Corazón de Paloma y Rainier, éstas eran variedades preferentemente para el mercado de los Estado Unidos y Brasil sin embargo durante los últimos años, se establecieron nuevas plantaciones, que destacan por la calidad del fruto, el nivel productivo y por el hábito vegetativo, dentro de las variedades de cerezas que se destacan se encuentran; Lapins, Kordia, Regina, Sweet Heart, Staccato y nuevas variedades de origen canadiense, italianas, húngaras y francesas (Dellinger, 2012).

Tabla 2. Producción promedio por hectáreas de cerezas Lapins, Corazón de Paloma y Sweet Heart en la Región de Ñuble.

Variedad	Superficie (ha)	Densidad (plantas/ha)	Producción (ton/ha)	Exportación (%)
Lapins	335,9	817	10,9	67,6
Corazón de Paloma	172,6	994	6,3	0,2
Sweet Heart	162,2	733	12,0	75,5

Fuente: Elaboración propia con información de ODEPA/CIREN (2019).

La cereza Lapins, es una variedad que presenta una productividad muy elevada, es una de las variedades más productivas que existe, el fruto es de buen tamaño (25 a 30mm de diámetro promedio), de color rojo oscuro brillante y pulpa roja más clara. Es de tendencia fructífera en “racimos”, tiene una mayor susceptibilidad al pitting (daño por compresión o impacto en la piel del fruto), principalmente por el manejo del cultivo, por cosechas en épocas inapropiadas y

por caminos en mal estados. Esta variedad no se puede cosechar hasta que alcance la madurez del fruto (Dellinger, 2012).

La cereza Sweet Heart, es de rápida producción y muy similar en el hábito de fructificación de la Lapins (fructificación principalmente sobre dardos y sobre ramos mixtos), por lo que es necesario darle un adecuado manejo en el proceso de poda para preservar la calidad del fruto, el fruto es redondo, presenta una buena firmeza y de buen tamaño (25mm de diámetro promedio), son de color rojo brillante, los huertos donde esta presenta este fruto son principalmente en localidades con días nublados, con lo cual esta debe estar completamente madura para que sea cosechada, por lo tanto si se cosecha con anticipación va a presentar un mal sabor (Dellinger, 2012).

El nombre científico de la cereza es *Prunus avium var*, al mismo tiempo todas las variedades de cerezas forman parte del género Prunus. Es un fruto carnosos, dulce y refrescante, se considera un fruto de verano con un gran poder antioxidante. Este fruto carece de pruina (capa de cera natural que recubre al fruto y protege contra enfermedades) por lo que es muy susceptible a la deshidratación una vez cosechados al igual que el pedicelo. Por lo que una buena estrategia es bajarle la temperatura de campo mediante el uso de esponjas húmedas, hidrofriados o "hidrocooling", que remueve el calor de campo del fruto. Esta necesidad de bajarles la temperatura de campo a las cerezas post cosechada, es de vital importancia ya que, después de ser arrancados de la planta sufren un estrés que incrementa la tasa respiratoria y genera un aumento en la temperatura del fruto (alcanzando temperaturas de 28° a 30°C). Por lo cual,

quitarle la temperatura de campo nos entregara un fruto de mejor calidad y prolongara la vida útil de la cereza.

Los sistemas actuales de acondicionamiento para las cerezas, van desde pre-cámaras con lotes de hidrogenados, sistemas de duchas y bombas de frío calor en cámaras, con lo que la utilización de estos sistemas genera un alto costo energético y un gran consumo del agua, siendo este último uno de los recursos naturales que ha ido en escases durante los últimos años.

La escasez hídrica en estos últimos años, ha afectado fuertemente al rubro agrícola, dado que es una de las principales áreas donde se utiliza el agua como sistema de riego o aplicada para el control de la temperatura de campo. Como se describe anteriormente la utilización de agua para bajar la temperatura de campo al fruto y sobre el consumo energético de las cámaras de bombas de frío calor, son factores importantes al momento de plantear este sistema de intercambiador de calor, ya que es un sistema en el cual no se utiliza agua y el consumo energético es mínimo comparado con los sistemas tradicionales de acondicionamiento. En cambio, este sistema utiliza el calor interno del subsuelo como el intercambiador de calor de baja entalpia, con lo cual se bajará la temperatura de campo de 28° a 30°C, a una temperatura de 15° a 18°C.

Un intercambiador de calor geotérmica es una fuente de energía renovable, en el cual, el calor proveniente desde el interior del suelo de la tierra (subsuelo) o desde las fuentes de aguas subterráneas, que se da gracias a la radiación solar la que permite almacenar en forma de calor desde los 2 a 3m del subsuelo de la tierra, logrando alcanzar una temperatura interna de la tierra entre 18° a 24°C, lo que favorece a climatizar un determinado espacio físico. En la actualidad, esta

es una de las energías renovables menos utilizadas y aprovechadas en el país, ya que no se tiene un gran conocimiento de las ventajas que da el sistema y de los costos que puede llegar a tener la instalación de un intercambiador geotérmico de baja entalpía (Fuenzalida, 2014).

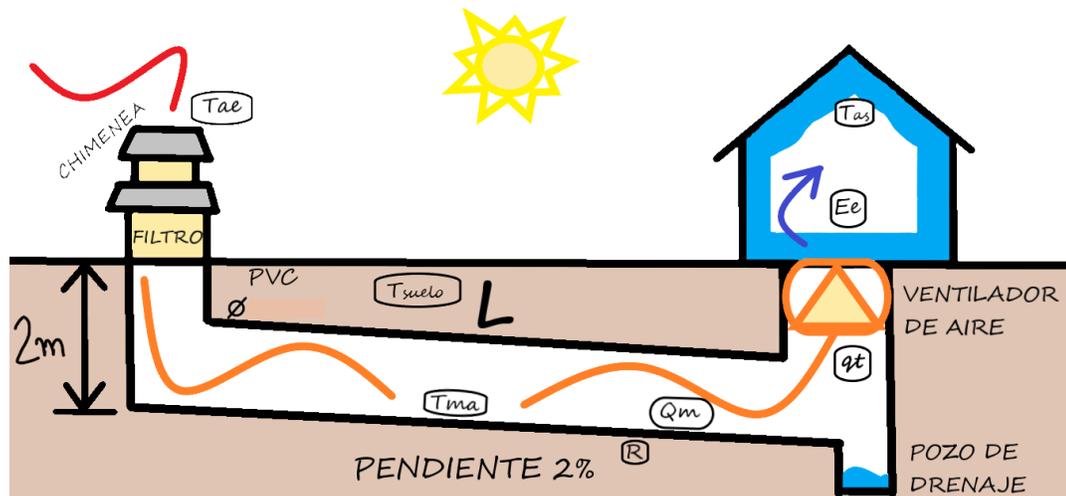


Figura 2. Esquema del funcionamiento de un intercambiador geotérmico de baja entalpía para casas habitacionales a replicar en el diseño propuesto.

Como se ve en la Figura 2, la energía geotérmica aprovecha la temperatura de interna de la tierra, esta es una fuente de energía continua de calor. Este sistema de calor se relaciona con el magnetismo activo que se encuentra cerca de los límites de las placas tectónicas y de zonas calientes del manto geológico, las zonas de alta entalpía llegan a temperaturas entre 180° a 200°C , esta energía se utiliza para la generación de energías eléctricas, hay un segundo tipo de recursos de baja entalpía que alcanzan temperaturas intermedias entre 100° a 180°C y de baja temperatura que son menores a los 100°C , por lo general esta última se encuentra en entornos continentales (Bleicher y Pehlken, 2020).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de pre-frío en cerezas Lapins y Sweet Heart, a través de un intercambiador geotérmico de baja entalpía, para el predio Santa Elena ubicado en la comuna de Coihueco, provincia de Punilla, región de Ñuble.

1.1.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las condiciones de almacenamiento de pre-frío en campo para cerezas variedades Lapins y Sweet Heart.
- b. Analizar e identificar las condiciones edafo-climáticas, que presenta el predio Santa Elena.
- c. Diseñar el intercambiador de calor geotérmico de baja entalpía, para un pre-frío de campo en la comuna de Coihueco.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Descripción del predio Santa Elena

La localización y las coordenadas del predio Santa Elena, se detallaron con la aplicación Google Maps.

Se realizó un reconocimiento de las dos variedades de cerezas por sector y la superficie por hectárea (ha), a través de la aplicación Google Maps.

2.2. Análisis del proceso de cosecha y la disposición de las bandejas

El análisis del proceso de cosecha se realizó observando a los recolectores desde que realizaban el desprendimiento del fruto desde el árbol hasta que llegaba al centro de acopio.

Se analizó que los tótems estén en perfectas condiciones y que se respetará la capacidad por tótems, para que estos no dañen al fruto por compresión y para no sufrir pérdidas por caída.

Se analizó que, al término de la recolección de los tótems con fruta, este pasara por la mesa de recepción que se encontraba al principio de la hilera, para luego terminar con el traslado al centro de acopio.

2.3. Tiempos en la cosecha

Se determinó el tiempo (min) que transcurre en las etapas descritas en el proceso de cosecha vistos en el punto 2.2.

Se realizó un seguimiento a 5 cosechadores con diferentes horarios, desde que estos empiezan en la mañana por periodos de tiempos, estas muestras se medirán a las, las 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 12:00am y 1:00pm, el seguimiento partió cuando el cosechador desprendió la fruta del árbol y se termina cuando la

fruta se encuentre en el lugar de acopio, el tiempo medido, se registró con un cronometro digital.

Se sacará un promedio del tiempo (min) en el periodo en que los cosechadores empleen de trabajo con la fruta en el predio.

2.4. Determinación de temperatura en la cosecha

Se midió la temperatura (°C) de campo en la cual, la fruta se mantiene expuesta en él árbol y en las etapas descritas en el punto 2.2.

Se realizó las mediciones a 5 frutas aleatoriamente cuando estas se encontraban en el árbol y después a otras 5 frutas cuando estas ya están en la estación entre hileras.

Las horas en las que se medirán las muestras son a las 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 12:00am y 1:00pm, las mediciones se registraron con una termocupla tipo T y un termómetro digital UEI DT130.

Se sacó un promedio de la temperatura (°C) del periodo en que los cosechadores empleen su trabajo con la fruta en el predio

2.5. Determinación de la producción de fruta diaria y almacenamiento

Se llevó un conteo del número de tótem con frutas recolectadas y la masa (g) total, cuando esta llegaba a la zona de carga en el interior del predio.

Se determinó la capacidad total de almacenamiento al interior del predio, de la temporada de cosecha con los datos obtenidos.

2.6. Tabulación de datos históricos meteorológicos que afectan al predio

Santa Elena

Se analizó los datos históricos meteorológicos registrando los factores de radiación, movimiento del viento, temperatura (°C) mínima y máxima promedio,

humedad relativa diaria, luminosidad diaria, precipitaciones diaria y acumulada en el predio Santa Elena hace 5 años atrás, en los meses de noviembre, diciembre y enero.

2.7. Análisis de la temperatura ambiental durante la cosecha

Se determinó la temperatura (°C) al inicio de la cosecha y cada 2 horas se registró la temperatura en la estación meteorológica, con la cual se cosecha la fruta durante el día.

Se analizó los datos meteorológicos en el sitio web “Agroclima”, para la posterior comparación de datos históricos con los datos tomados en el predio durante la cosecha.

2.8. Caracterización del tipo de suelo

Se caracterizó el tipo de suelo que se encuentra en el predio Santa Elena según, textura, conductividad térmica, temperatura, profundidad de suelo (2 a 3m), pozos, zanjas y calicatas que se encuentran en el interior del predio, además de la colaboración de los propietarios en la caracterización.

2.9. Determinación de la ubicación de la cámara de pre-frío

Se llevó a cabo un mapeo digital del predio, buscando el sitio que presente las características dimensionales ideales para la ubicación del pre-frío y se buscaran diferentes alternativas donde se pueda implementar.

Al realizar el mapeo digital del predio, se tomaron en cuenta las siguientes condiciones, deberá contar con la mejor accesibilidad vial, deberá contar con suministros eléctricos y que tenga la menor distancias con respecto a las hileras con lo cual no se tengan tiempos muertos durante la cosecha.

2.10. Determinación de las dimensiones de la cámara de pre-frío

Para el dimensionamiento de la cámara de pre-frío, se consideró, el volumen diario de fruta ingresada, el tiempo de residencia de la fruta y que este logre abarcar la máxima producción que se alcance en el día.

El dimensionamiento en el interior de la cámara, se consideró con el requerimiento máximo de almacenamiento de la producción en el día, deberá contar con el fácil acceso del personal que ingrese hacia la cámara con la fruta a almacenar y que la distribución en el interior sea desde atrás hacia adelante.

2.11. Materiales de construcción de la cámara de pre-frío

Se determinó los materiales para la construcción de la cámara, basándose en los puntos 2.8, 2.9 y 2.10.

Se realizó una tabulación de materiales considerando los factores de conductividad térmica, disponibilidad en el mercado, costos de adquisición y que sean amigables con el medio ambiente.

Con lo cual la elección de los materiales se realizará en conversaciones en conjunto a los propietarios del predio Santa Elena.

2.12. Determinar las dimensiones del intercambiador geotérmico de calor

Las dimensiones de la tubería del intercambiador de calor, va a depender de las dimensiones que tenga la cámara, la temperatura ambiental, la temperatura interna del suelo y la energía calórica del producto que este al interior del pre-frío.

Para la determinación de las dimensiones se deberá tener establecido las dimensiones (m^3) que tendrá la cámara de frío y el volumen (m^3) de la fruta con su respectiva energía calórica.

Para el cálculo del sistema de tubería del intercambiador de calor:

- Para empezar el dimensionamiento se comenzará con el cálculo del caudal que pasa por los conductos.

$$q_t = A * v \quad [1]$$

- Donde.

q_t =Caudal de la tubería ($m^3 s^{-1}$).

A = Área de la tubería (m^2).

v = Velocidad del aire de entrada en la tubería ($m s^{-1}$).

- Cálculo del área de la tubería.

$$A = \pi \left(\frac{D_{int}}{2} \right)^2 \quad [2]$$

- Donde.

A = Área de la tubería (m^2).

D_{int} = Diámetro interior de la tubería (m).

- Cálculo de la temperatura media del aire.

$$T_{ma} = \frac{T_{in} - T_{out}}{2} \quad [3]$$

- Donde.

T_{ma} = Temperatura media del aire ($^{\circ}C$).

T_{in} = Temperatura de entrada del aire ($^{\circ}C$).

T_{out} = Temperatura de salida del aire ($^{\circ}C$).

- Cálculo de la resistencia térmica del conducto.

$$R = R_{conducción} + R_{convección} \quad [4]$$

- Donde.

R = Resistencia térmica ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$).

$R_{conducción}$ = Resistencia por conducción ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$).

$R_{convección}$ = Resistencia por convección ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$).

- Cálculo de las resistencias de conducción y por convección

$$R_{conducción} = \frac{e}{\lambda} \quad [5]$$

$$R_{convección} = \frac{1}{5,55 v^{0,8}} \quad [6]$$

- Donde.

e = Espesor (m).

λ = Conductividad térmica de la tubería ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$).

- Cálculo del flujo de calor medio por la tubería.

$$\varphi_m = \frac{T_{ma} - T_{terreno}}{R} \quad [7]$$

- Donde.

φ_m = Flujo de calor medio por la tubería ($W \cdot m^{-1}$).

$T_{terreno}$ = Temperatura del terreno ($^\circ C$).

- Cálculo de la energía que se debe eliminar del aire.

$$E_e = \left(\frac{i}{v_e} \right)_{in} - \left(\frac{i}{v_e} \right)_{out} \quad [8]$$

- Donde.

E_e = Energía a eliminar ($\text{kJ m}^{-3} \rightarrow \text{W m}^{-3}$).

i = Entalpía (kJ kg^{-1}).

V_e = Volumen específico ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$).

- Cálculo del calor emitido por la cereza.

$$C_c = m_c * Cp_c * \Delta T (T_{in} - T_{out}) \quad [9]$$

C_c = Cantidad de Calor (kcal h^{-1}).

m_c = Masa cerezas (kg h^{-1}).

ΔT = Variación de temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

- Con las dos energías la energía a eliminar (aire) y la energía calórica que emite la cereza, se suman estos dos para obtener el calor final que el sistema debe eliminar.

$$Q_t = C_c + E_e \quad [10]$$

- Y por último se calcula la superficie del intercambiador de calor (S), junto a la longitud del conducto (L).

$$S = \frac{E_e * q_t}{\phi_m} \quad [11]$$

$$L = \frac{S}{\text{Perímetro}} \quad [12]$$

- Donde.

S = Superficie del intercambiador (m^2).

L = Largo de la tubería (m).

2.13. Determinar la disposición de los conductos

En este punto se determinó como el intercambiador de calor se va a distribuir en el terreno.

La disposición de los conductos dependerá de la superficie que tenga el terreno en la cual se enterraran el sistema de tuberías, con lo cual se tendrá una disposición de serpentín o rejilla, que entre las tuberías tengan una distancia de 50 a 100cm de separación, que se encuentra la tubería con una pequeña inclinación con respecto al suelo, que la profundidad de la tubería esté entre 2 a 3m por el rango de temperatura de 18° a 24°C que alcanza a esa profundidad y en la parte final tenga un pozo de drenaje.

Con lo cual la elección de la disposición de los conductos se realizará en conversaciones en conjunto a los propietarios del predio Santa Elena.

2.14. Layout del sistema

Con todas las medidas ya tomadas y de los cálculos del sistema del intercambiador geotérmico de calor, se diseñará por AutoCAD o REVIT, el diseño de que tendrá la cámara de pre-frío, para el predio Santa Elena.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Descripción del predio Santa Elena

El predio Santa Elena es una empresa que se encuentra ubicada en el sector de las Tijeras en la comuna de Coihueco, provincia de Punilla, región de Ñuble, la producción de cerezas variedades Lapins y Sweet Heart son destinadas a exportación, esta se encuentra entre las ciudades de Chillán y Coihueco, como se ve en la siguiente Figura 3.



Figura 3. Imagen satelital del predio Santa Elena ubicado en el sector las Tijeras, coordenadas; $36^{\circ}37'59''\text{S}$ - $71^{\circ}54'00''\text{W}$.



Figura 4. Imagen satelital del predio Santa Elena de la superficie de cerezas para las variedades Sweet Heart y Lapins.

En la Figura 4, se aprecia que para la variedad Sweet Heart se tiene una superficie de 3,6ha (en rojo) y la superficie para la variedad Lapins es de 2,2ha (en azul), dando un total de la superficie plantada de 5,8ha.

3.2. Análisis del proceso de cosecha y la disposición de las bandejas

El proceso de cosecha se inicia a las 6:00 am, en la que se parte primero con el armando de la estación de control de calidad y logística, que se encuentra entre hileras como se ve en la Figura 6. En esta parte es donde se realiza el pesado del tótem (cajas de cosecha) que deben cumplir con un peso de fruta de 8kg, con un mayor peso la fruta que se encuentra en la parte inferior del tótem sufre la compresión por el exceso de cerezas, lo que obliga hacer una preselección de la fruta.

La preselección que se lleva a cabo en la estación de control de calidad. Se realiza un descarte de la fruta que no cumplan con los parámetros de madurez, color, problemas por pitting, pedicelos deshidratados, que presenten signos de pudrición, daños por picadura de pájaros, daños de larva (*Drosophila suzukii*) o mosca de alas manchadas y la detección de frutos deformes por virosis por *Prunus necrótica*.

La cosecha comienza a las 6:30am, en este punto se hace entrega del tótem a los cosechadores que se distribuyen en cuadrillas (40 personas distribuidas en el proceso de cosecha). Los cosecheros se demoran alrededor de 8 a 15min en llenar un tótem. Los tótems llenos son llevados a la recepción ubicada en las entre hileras, donde se realizan los respectivos controles de calidad y en donde se hace el descarte.

Una vez que se hace el control de calidad y el peso de los tótems, estos son depositados al costado de la estación entre hileras sobre pallets, donde empieza el primer descenso de temperatura de campo, puesto que, como se empieza a producir la respiración del fruto más forzada, va a significar un aumento en la emisión de calor por parte del fruto y como consecuencia esta se va a descomponer más rápido. Por lo tanto, va a ser muy relevante ir bajando la temperatura de campo para que estas no sigan emitiendo calor.

Luego de este primer descenso de la temperatura de campo, los tótems son trasladados por vehículos motorizados al centro de acopio. Se trasladan con una esponja mojada en la parte superior de los tótems, para que siga el proceso de descenso de la temperatura de campo.

En el Centro de acopio, se realiza el cargado de los bins con los tótems ya cosechados, los que se van poniendo en un camión con rampla como se ve en la Figura 6, con capacidad de 24 bins, cada uno de los bins tienen una capacidad de 24 tótems, cada uno de los tótems van cargados con un peso entre los 8 a 9kg, este cuando ya está cargado con los bins, sale con dirección al packing entre las 10:00 a 12:00am.

Entre las 10:00 a 11:00am, llega un segundo camión frigorífico con una capacidad de 22 bins. Antes de que la fruta sea cargada a este segundo camión frigorífico, se debe hacer un tercer proceso de descenso de temperatura de campo, a través de aspersores que se encuentran en la parte superior del cielo, estos se dejan por 5min y con esponjas en la parte superior de los tótems para ir controlando la temperatura, luego de estos 5min, ya se pueden cargar los tótems y depositarlos en los bins que se encuentran en este segundo camión. Este proceso termina

entre las 1:00 a 2:00pm, con lo cual sale el segundo camión frigorífico con dirección al packing y alrededor de las 2:00pm llega el primer camión que salió en la mañana, con lo cual se repetirá el mismo procedimiento descrito para el día siguiente.



Figura 5. Zona de carga en el interior del predio Santa Elena y la distribución de tótems en los bins ya cargados al camión con rampla.



Figura 6. Estación de control de calidad que se encuentra en la entre hileras, en el predio Santa Elena.

3.3. Tiempos en la cosecha

Se realizó la medición del tiempo en minutos empleados por los cosechadores dentro de la mañana, a través de un cronometro, cuando estos desprenden la fruta desde el árbol y terminan en la entre hileras, donde se realizan los controles de calidad, estas mediciones se realizaron con diferencia de una hora entre cosechadores, estas fueron a las 8:00, 9:00, 10:00, 11:00 y 12:00am, no sé realizo una medición a las 1:00pm, ya que dentro de ese periodo de tiempo la faena de los cosechadores ya estaba terminando.

Tabla 3. Tiempo (min y s) empleado por un cosechero, en desprender el fruto hasta depositar el tótem en la estación de control de calidad en diferentes días y el promedio por días y horas.

Día	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	Promedio
23-dic	10'31"	11'21"	9'49"	11'31"	12'07"	11'04"
24-dic	8'51"	10'22"	11'17"	9'55"	10'04"	10'06"
27-dic	11'51"	13'52"	17'22"	12'24"	14'39"	14'02"
28-dic	12'17"	9'38"	12'38"	11'23"	12'57"	11'47"
30-dic	13'15"	9'58"	11'28"	11'33"	11'57"	11'38"
31-dic	16'24"	18'09"	14'55"	17'49"	18'32"	17'10"
Promedio	12'11"	12'13"	12'55"	12'26"	13'23"	

Dentro de los últimos días de la cosecha, el tiempo empleado por los cosechadores, fueron mayores con respecto a los de los primeros días, ya que, desde el 23 al 27 de diciembre, se cosecho la variedad Lapins y del 27 al 31 de diciembre, se cosecho la variedad Sweet Heart.

Estas diferencias con respecto al tiempo se deben a que la variedad Lapins, presento una mayor carga de fruta en el árbol al igual que la variedad Sweet Heart, pero en comparación con la calidad y de calibre del fruto, la variedad

Lapins se comportó de mejor manera en comparación con la variedad Sweet Heart.

Otra diferencia que se puede apreciar, es que, en las horas de la mañana entre las 8:00 a 9:00am, los cosechadores presentan un menor tiempo en desprender el fruto desde el árbol y llevarlos hacia la estación de control de calidad, en comparación con las horas de las 12:00pm, que ya a estas horas presentan un mayor desgaste y se encuentran más cansados que cuando se da inicio a la cosecha.

3.4. Determinación de temperatura en la cosecha

Se realizó la medición de la temperatura (°C) con una termocupla tipo T y un termómetro digital UEI DT130, cuando el fruto se encuentra en el árbol y cuando estas ya se encuentran en la estación de control que se encontraban en las entre hileras.

Las horas desde las 11:00am hasta las 1:00pm, fueron las más relevantes ya que fue donde la fruta alcanzaba las temperaturas más altas dentro de la cosecha.

Tabla 4. Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 27 de diciembre para variedad Lapins y sus respectivos promedios.

Hora	Lugar	Temperatura °C				
8:00	Árbol	18,6	19,3	18,5	21,1	23,1
8:15	Entre Hileras	17,9	17,3	18,7	18,2	18,7
9:00	Árbol	24,4	20,4	21,2	25,9	27,4
9:15	Entre Hileras	18,7	19,8	21,5	21,8	21,4
10:00	Árbol	28,4	32,3	33,3	27,5	24,5
10:15	Entre Hileras	22,8	22,6	21	19,7	18,5
11:00	Árbol	26,1	26,5	25,2	25,7	25,3
11:15	Entre Hileras	27,4	29,5	28,9	27,5	26,4
12:00	Árbol	32,2	25,2	30	30,4	27,8
12:15	Entre Hileras	28,4	28,9	31,9	29,4	30,2
1:00	Árbol	31,1	29,9	30,7	30,3	30,9
1:15	Entre Hileras	28,1	29	28,6	28,3	27,9
Promedio	Árbol	26,4				
	Entre Hileras	24,3				

Tabla 5. Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 31 de diciembre para variedad Sweet Heart y sus respectivos promedios.

Hora	Lugar	Temperatura °C				
8:00	Árbol	10,9	10,2	15	13,5	15,6
8:15	Entre Hileras	9,9	8,7	9,9	10	11,1
9:00	Árbol	20,1	14,5	18,3	15,6	24,2
9:15	Entre Hileras	18,8	17,7	14,6	14,2	16,8
10:00	Árbol	21,9	20	21,7	27,6	24,6
10:15	Entre Hileras	18,4	18,2	18,4	19	18,9
11:00	Árbol	27	28	24,2	26,9	23,3
11:15	Entre Hileras	29,7	28,7	30,7	29,7	31,7
12:00	Árbol	27,9	33,3	30,3	30,2	34,4
12:15	Entre Hileras	26,1	27,3	28,2	27,6	27,3
1:00	Árbol	28,6	27,7	28,7	30,7	26,8
1:15	Entre Hileras	29,1	29,2	30	30,9	32,1
Promedio	Árbol	23,4				
	Entre Hileras	23,4				



Figura 7. Temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$) del fruto cuando se encuentra en el árbol medida con el termómetro digital UEI DT130.



Figura 8. Temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$) del fruto cuando se encuentra en la entre hileras medida con el termómetro digital UEI DT130.

Los datos de temperatura en el árbol y como se logra ver en la Figura 7, nos muestra la importancia que tiene el realizar un descenso controlado con respecto a la temperatura de campo, ya que una vez que pase a la estación entre hileras, como se ve en la Figura 8, el fruto sigue emitiendo calor además de que se

encuentra encima de los pallets y a pleno sol, la temperatura aún se mantiene elevada, por lo que el proceso de descomposición va ser mar rápido.

Con respecto a las temperaturas en las entre hileras, como se muestra en la Tabla 4 y Tabla 5, que desde las 10:00am hasta la 1:00pm, las temperaturas se encuentran sobre los 25 °C, por lo que, al paso de las horas la temperatura sigue aumentando.

Lo que nos indica la relevancia que tiene el realizar un adecuado descenso de la temperatura de campo, para que el fruto se conserve mejor y no presente ninguna alteración organoléptica (características que se perciben a través de los sentidos gusto, vista, olfato y tacto).

3.5. Determinación de la producción de fruta diaria y almacenamiento

Se registró los datos de fruta procesada, una vez que los camiones ya salieran desde el predio con dirección a packing, el primer camión (camión con rampla) salía del predio, sale entre las 10:00 a 11:00am y el segundo camión (camión frigorífico) sale entre las 1:00 a 2:00pm.

Tabla 6. Capacidad en la zona de carga de bins más tótem con fruta cosechada (kg) y cargada en los camiones, camión con rampla y camión frigorífico.

Fechas	Camión con rampla		Camión frigorífico	
	Bins + tótem	kg	Bins + tótem	kg
23-dic	22+0	4.593,6	17+4	3.584,4
24-dic	17+0	3.549,6	19+0	3.967,2
27-dic	18+0	3.758,4	4+0	835,2
27-dic	-	-	3+12	730,8
28-dic	13+7	2.775,3	-	-
30-dic	22+0	4.593,6	-	-
31-dic	28+0	5.846,4	-	-
Total	2215 tótem	25.116,9	1048 tótem	9.117,6
	Camión con rampla + Camión frigorífico			34.234,5

Desde el 23 al 27 de diciembre los dos camiones, se cargaban con la variedad Lapins y desde el 27 a las 10:00 am, empezó con la cosecha de la variedad Sweet Heart hasta el 31 de diciembre.

Para las fechas del 27 al 31 de diciembre, la cantidad de cosecheros que asistían al predio, fue disminuyendo, con lo cual, la productividad tuvo el mismo resultado, en la baja de frutos cosechados.

Como consecuencia del descenso de cosecheros en el predio, el camión frigorífico, dejó de asistir al predio para los últimos días (del 28 al 31 de diciembre) y solo el camión con rampla llegaba al predio para llevarse la fruta cosechada.

3.6. Tabulación de datos históricos meteorológicos que afectan al predio

Santa Elena

Se recopilaron datos históricos con respecto a las condiciones meteorológicas que afectan al predio Santa Elena, considerando la primera y segunda quincena

en los meses noviembre, diciembre y enero, dentro de las 5 temporadas anteriores.

Estos datos se consiguieron a través de revisión de sitios web como AgroClima, Dirección Meteorológica de Chile y Meteored, siendo este último sitio web la que represento mejor los datos de humedad relativa ambiental, temperatura ambiental y velocidad del viento medio.

Las temporadas consideradas son; 2016 – 2017, 2017 – 2018, 2018 – 2019, 2019 – 2020 y 2020 – 2021.

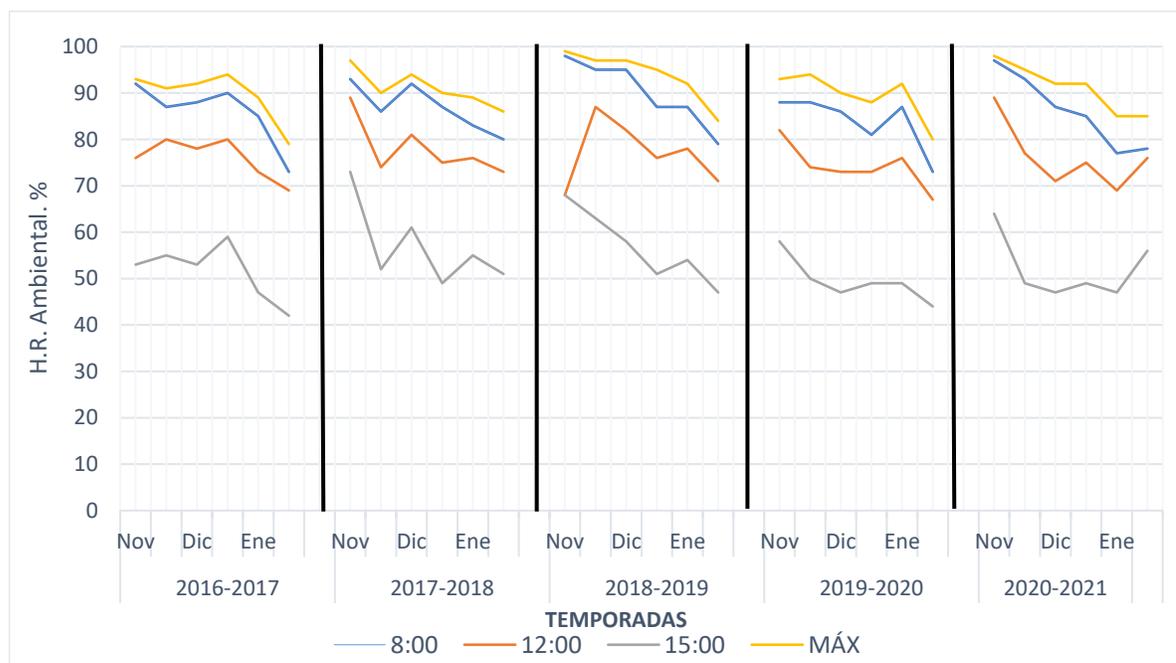


Figura 9. Humedad relativa promedio en quincenas por temporadas, a diferentes horas dentro de la cosecha y la humedad relativa máxima.

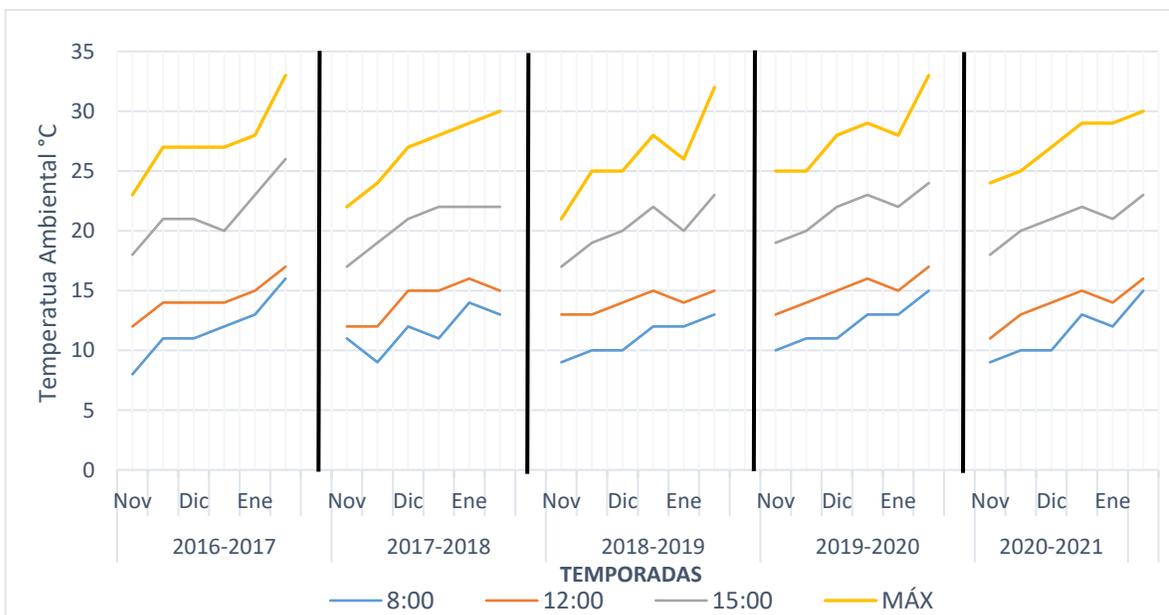


Figura 10. Temperatura ambiental promedio en quincenas por temporadas, a diferentes horas dentro de la cosecha y la temperatura máxima.

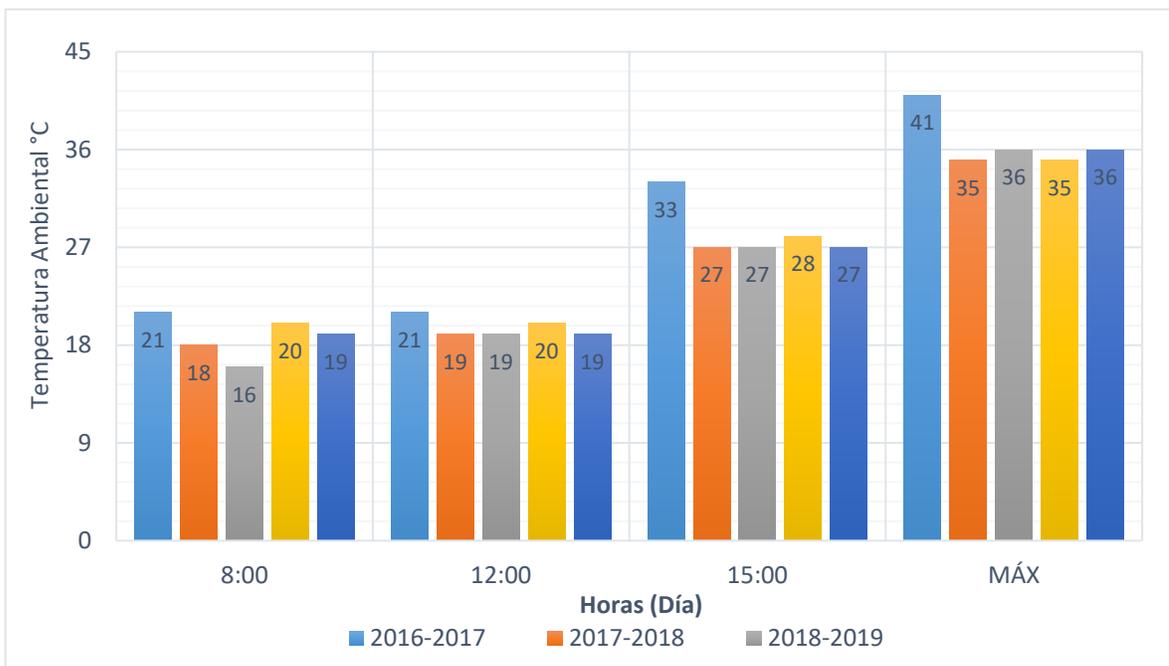


Figura 11. Temperaturas máximas por temporadas de cosecha en el predio Santa Elena, a diferentes horas dentro de la cosecha.

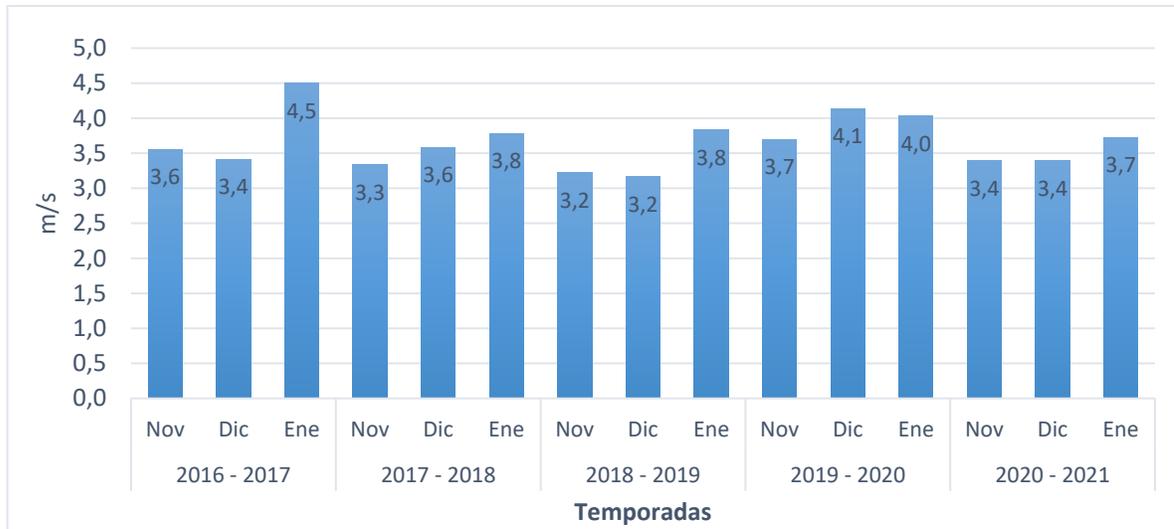


Figura 12. Promedio de la velocidad media del viento por temporadas en el predio Santa Elena.

Los datos recopilados de temperatura ambiental (C°) y humedad relativa ambiental (%), se compararán con los datos medidos en terreno, con la estación meteorológica que se encuentra en el predio.

3.7. Análisis de la temperatura ambiental durante la cosecha

Se registró la temperatura en grados centígrados (°C) y la humedad relativa (%), de la zona de carga (inside) y ambiental (outside), esto se realizó junta a la estación meteorológica que se encuentra dentro del predio, las mediciones se registraron a las 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 12:00am y 1:00pm.



Figura 13. Estación meteorológica DAVISI Vantage VUE, que se encuentra en el interior del predio Santa Elena.

Tabla 7. Temperaturas (°C) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 27 de diciembre para variedad Lapins.

Hora	T° inside (°C)	T° outside (°C)	Inside (%)	Outside (%)
8:00	17°C	15°C	62%	79%
9:00	17°C	18°C	63%	68%
10:00	18°C	22°C	63%	60%
11:00	22°C	25°C	59%	53%
12:00	25°C	27°C	52%	48%
1:00	27°C	29°C	45%	44%

Tabla 8. Temperaturas (°C) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 30 de diciembre para variedad Sweet Heart.

Hora	T° inside (°C)	T° outside (°C)	Inside (%)	Outside (%)
8:00	16°C	13°C	76%	96%
9:00	17°C	18°C	63%	68%
10:00	18°C	22°C	63%	60%
11:00	22°C	25°C	59%	53%
12:00	25°C	27°C	52%	48%
1:00	27°C	29°C	45%	44%

Las siguientes figuras, nos muestran las diferencias que se tuvieron, con la recopilación de datos medidos en el predio, en comparación con los datos históricos meteorológicos recopilados en las bases de datos.

Considerando los días de cosecha jueves 23, viernes 24, lunes 27, martes 28, jueves 30 y viernes 31 de diciembre, 2021.

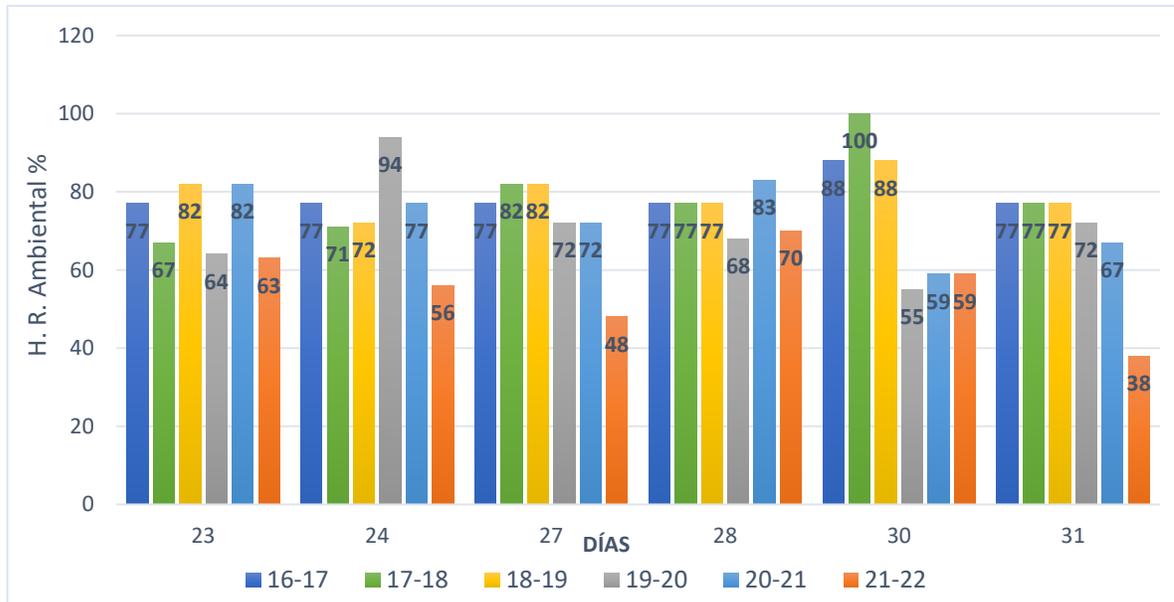


Figura 14. Comparación de humedad relativa históricas recopiladas en la base de datos con la humedad relativa medidas en terreno durante la cosecha a las 12:00pm.

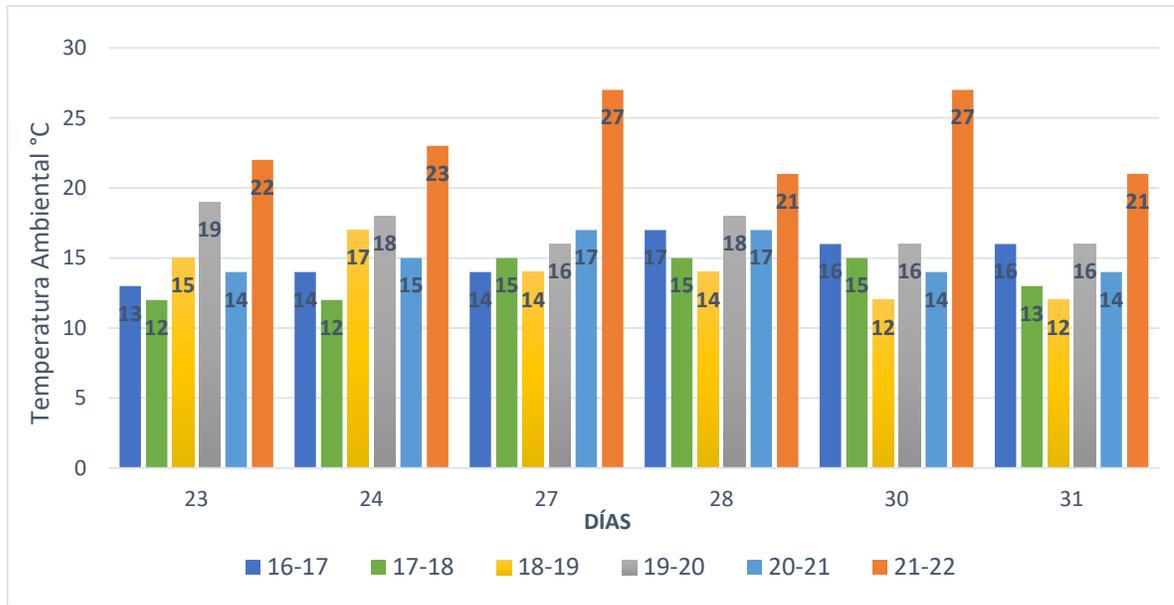


Figura 15. Comparación de temperaturas históricas recopiladas en la base de datos con temperaturas medidas en terreno durante la cosecha a las 12:00pm.

Los datos recopilados en terreno, en comparación con los datos históricos meteorológicos reunidos en las bases de datos, muestran una gran diferencia, ya que, las mediciones en terreno con la estación meteorológica que se encuentra dentro del predio, arrojaron para los parámetros de temperatura ambiental (°C) y humedad relativa ambiental (%), una diferencia significativa.

Los datos de humedad relativa ambiental (%), se demuestran con valores inferiores a los datos de la base histórica meteorológica recopiladas, como se logra ver en la Figura 14, los valores que se midieron a las 12:00pm, muestran que la humedad relativa máxima a esa hora no sobrepasa un 60% de humedad relativa ambiental y con la base de datos los valores de humedad van en un rango de los 100 a 55% de humedad relativa ambiental.

Para los datos de temperatura ambiental ($^{\circ}\text{C}$), nos demostraron lo contrario, la sensación térmica era mayor en comparación a los datos que se encontraron en las bases de datos históricos meteorológicos, como lo demuestra la Figura 15, arrojando valores superiores a los 20°C y en los años anteriores no lograron pasar esta temperatura.

Una de las causas de estas diferencias entre los datos meteorológicos tomados dentro del predio y los recopilados en la base de datos históricos, es que la estación meteorológica de la base de datos se encuentra en el *Aeropuerto General Bernardo O'Higgins (SCCH), Chillán* y está se encuentra a unos 16km del predio Santa Elena y desde el predio a la ciudad de Coihueco, tiene una distancia de 15km.

Con lo cual el rango de medición de la estación, no va a ser exacto ya que la estación nos arroja la sensación térmica de la ciudad de Coihueco, en cambio la estación que se encuentra dentro del predio nos da una sensación térmica más exacta a las condiciones con la cual se cosecha en ese periodo de tiempo.

3.8. Caracterización del tipo de suelo

El tipo de suelo que se encuentra en el predio Santa Elena, es del tipo franco arcilloso, encontrando sectores más arcillosos dentro del predio, este suelo se caracteriza por presentar bastante arcilla y que al mismo tiempo cuenta con limo y arena (tipos de suelo), en menor cantidad.

Este presenta una conductividad térmica de $0,8\text{W m}^{-2}\text{C}^{-1}$, lo que nos indica que la capacidad para conducir calor es baja.

Presenta un pH entre 5,8 y 6, siendo este un suelo medio ácido y con contenido de materia orgánica entre un 2 y 3%, dependiendo del sector del predio.

3.9. Determinación de la ubicación de la cámara de pre-frío

Se determinó la ubicación de la cámara, tomando en cuenta los parámetros de fácil accesibilidad a la zona de carga, que tenga una cercanía con la red eléctrica y uno de los principales puntos para la ubicación de la cámara, es que, ya se dispone de un sitio que cumple con los factores anteriormente mencionados.



Figura 16. Imagen de la zona de carga en el interior del predio Santa Elena y de la ubicación que tendrá la cámara de pre-frío.

En la Figura 18, se aprecia la zona de carga que dispone el predio y es el lugar que cumple con las mejores condiciones solicitadas anteriormente.

En la parte izquierda de la Figura 18, es donde se instalarán los conductos, que irán enterrados en el subsuelo.

3.10. Determinación de las dimensiones de la cámara de pre-frío

La cámara tendrá unas dimensiones de 12m de largo, 8m de ancho y una altura de 3,7m, estas dimensiones están dadas por la zona de carga que se encuentra

en el predio, con lo cual ya se tiene una base en la cual se puede trabajar y realizar mejoras.

3.11. Materiales de construcción de la cámara de pre-frío

Características del muro para la cámara de pre-frío.

- Paredes de madera, revestidos con placas OSB 9mm, 1,22 x 2,44m.
- Aislante térmico, Planchas de poliestireno expandido 50mm.
- Barrera de humedad, Membrana Durafoil 315 rollo de 1 x 75m incl traslape.

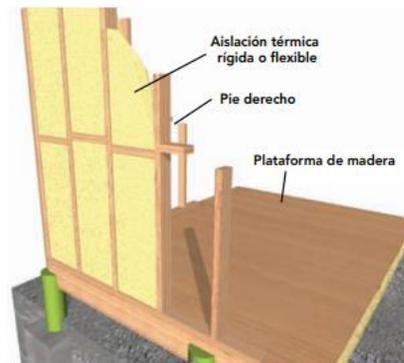


Figura 17. Aislación típica de un tabique perimetral. Fuente: Corma (Corporación Nacional de la Madera) (2008).

Características del cielo que tendrá la cámara de pre-frío.

- Cielo de madera, con placas OSB 9mm, 1,22 x 2,44m.
- Aislante térmico, Planchas de poliestireno expandido 50mm.
- Barrera de humedad, Membrana Durafoil 315 rollo de 1 x 75m incl traslape, con una colocación del material aislante continuo, para evitar puentes térmicos por intermedio de la estructura.

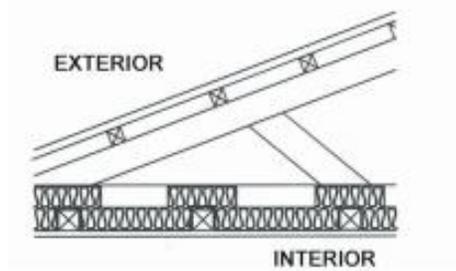


Figura 18. Colocación del material aislante que debe ser continuo, para evitar pérdidas de calor. Fuente: Corma (Corporación Nacional de la Madera) (2008).

Características del radier que tendrá la cámara de pre-frío.

- Hormigón de radier, H-15 170kg cem m⁻³.
- Complementos de radier, malla electrosoldada 1 x 2m, poliestireno expandido 50mm.

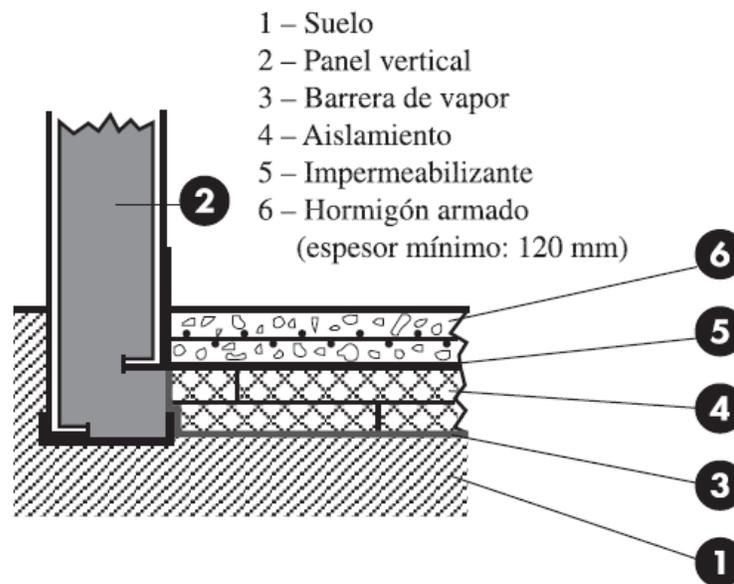


Figura 19. Vista de la composición del radier. Fuente: Isotermia (2013).

Características de la tubería que tendrá el intercambiador geotérmico de calor.

- Tubería PVC de 110mm.
- Piezas especializadas como codos de 90° de 50mm y tee soldable 50mm para drenaje.

3.12. Determinar las dimensiones del intercambiador geotérmico de calor

Tabla 9. Datos para la determinación de las dimensiones del intercambiador de calor.

Datos	Valores	Unidad de medida
Masa cerezas	850	kg h ⁻¹
T _{as}	15	°C
T _{ae}	30	°C
T _{terreno}	12	°C
Ø	0,11	m
e	0,0088	m
Profundidad	3	m
v	4	m s ⁻¹
λ	0,16	W m ⁻¹ *°C ⁻¹

Con estos datos se puede calcular el caudal que pasa por los conductos y el área de la tubería.

$$A = \pi * \left(\frac{0,11}{2}\right)^2 = 0,0095 \text{ m}^2$$

$$q_t = 0,0095 * 4 = 0,038 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

El flujo de calor medio que pasa por los conductos, se debe calcular primero la temperatura media por la tubería y luego se calcula la resistencia térmica del conducto (R).

$$T_{ma} = \frac{15 + 30}{2} = 22,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R = 0,55 + 0,059 = 0,114 \text{ m}^2\text{°C W}^{-1}$$

$$R_{\text{conducción}} = \frac{0,0088}{0,16} = 0,55 \text{ m}^2\text{°C W}^{-1}$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{5,55 * 4^{0,8}} = 0,059 \text{ m}^2\text{°C W}^{-1}$$

Con esto el flujo de calor medio de calefacción (φ_m) es.

$$\varphi_m = \frac{22,5 - 12}{0,114} = 91,753 \text{ W m}^{-2}$$

Con el flujo de calor, lo que sigue es calcular la energía que se debe eliminar del aire (E_e), los datos se obtendrán de la tabla psicrométrica.

Tabla 10. Datos sacados de la tabla psicrométrica para temperatura y humedad relativa.

Datos	Aire entrada	Aire salida	Unidades de medida
Temperatura (T)	30	15	°C
H. Relativa (HR)	61	61	%
Entalpía (i)	72	31,5	kJ kg ⁻¹
Vol. Específico	0,8875	0,8203	m ³ kg ⁻¹

$$E_e = \left(\frac{72}{0,8875} \right)_{in} - \left(\frac{31,5}{0,8203} \right)_{out} = 42,7 \text{ kJ m}^{-3}$$

Esta energía a enfriar va dentro de una hora de trabajo del sistema, con lo cual el resultado queda en $42,7 \text{ kJ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$.

Ahora se calculará el calor que aporta la cereza (C_c) al sistema.

$$C_c = 850 * 0,87 * (30 - 15) = 11.092,5 \text{ kcal h}^{-1}$$

Con esto se transforman las unidades de medida de kcal h⁻¹ a kJ m⁻³ h⁻¹.

$$11.092,5 \text{ Kcal/h} \rightarrow \frac{11.092,5 * 4,184}{355,2} = 130,7 \text{ kJ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$$

Se suman las dos energías de calor, para obtener la energía de calor que el sistema debe remover.

$$Q_t = 130,7 + 42,7 = 173,4 \text{ kJ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$$

Se calcula la superficie para el intercambiador de calor (S) y la respectiva longitud del conducto (L).

$$S = \frac{173,4 * 1000 * 0,038}{91,753} = 71,83 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{71,83}{0,35} = 207,9 \text{ m}$$

Con lo cual el largo final del intercambiador geotérmico de calor para la ventilación de la cámara de pre-frío será de 208m.

3.13. Determinar la disposición de los conductos

Los conductos que estarán en el subsuelo, tendrán una disposición de serpentín, constara con una separación entre 50 a 100cm, y con una profundidad bajo el suelo de 3m.

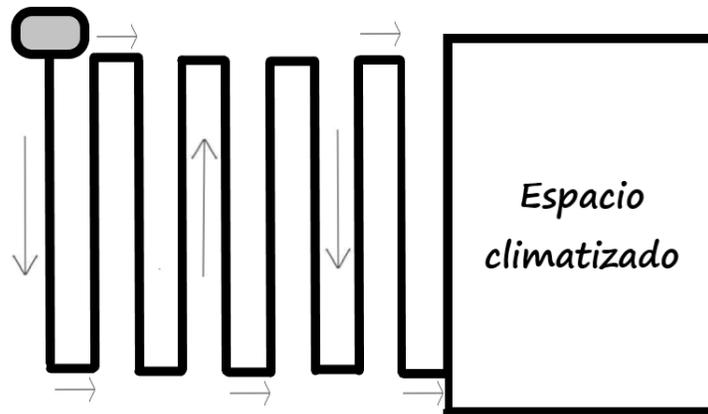


Figura 20. Diagrama de la distribución de la tubería para el intercambiador geotérmico de calor. Fuente: elaboración propia.

3.14. Layout del sistema

El layout del sistema se realizó, en función de la cercanía con las hileras y que se encuentra por la vía principal donde transitan los vehículos motorizados (camión con rampla y camión frigorífico), además de que ya se dispone de un galpón donde va llegando la producción de fruta en el día.

En consideración con el galpón, este se deberá modificar completamente en la parte interna del galpón, realizando un revestimiento en las paredes, en el cielo y del radier en la parte del suelo.

Se deberá considerar una puerta frigorífica para que el interior de la cámara conserve la temperatura en el interior, esta temperatura interna será de 15°C.

En la Figura 21, se aprecia que la tubería está por la parte de afuera de la cámara, esta se ve por fuera solamente para evidenciar por donde deberá estar la tubería que ingrese a la cámara, ya que esta no deberá estar por la parte de afuera ya que la radiación solar incrementaría la temperatura interna de la tubería.

De la Figura 22, se puede apreciar la disposición de los ventiladores para el ingreso del aire, en la parte de la tubería que ingresa a la cámara también se instalara un ventilador para favorecer el ingreso del sistema del aire en el interior de la cámara.

Se realizaron los dibujos o esquemas en 3D, de la cámara de pre-frío junto con las instalaciones del intercambiador geotérmico de calor y de la instalación de los ventiladores donde va a ingresar él aire frío, se realizó con el programa REVIT.

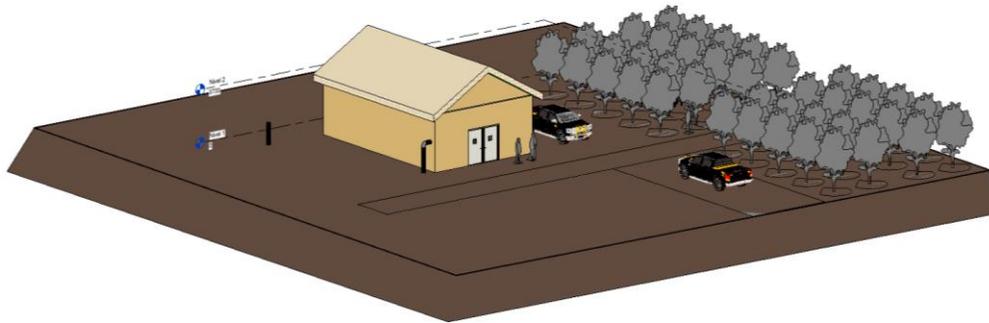


Figura 21. Vista 3D con el programa REVIT de la cámara de pre-frío.

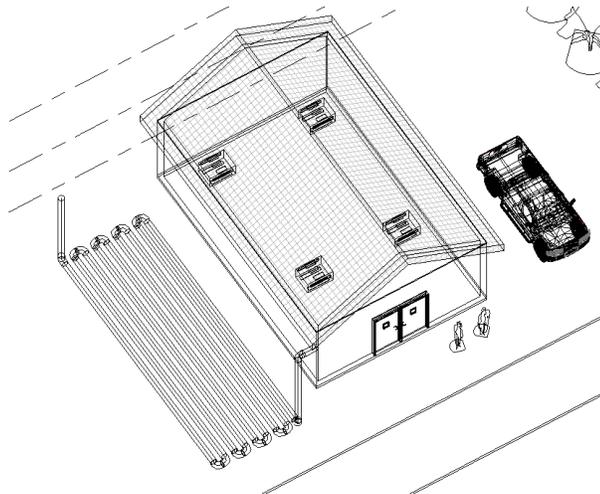


Figura 22. Vista 3D con el programa REVIT de la disposición de la tubería para el intercambiador geotérmico de calor en el subsuelo del predio Santa Elena.

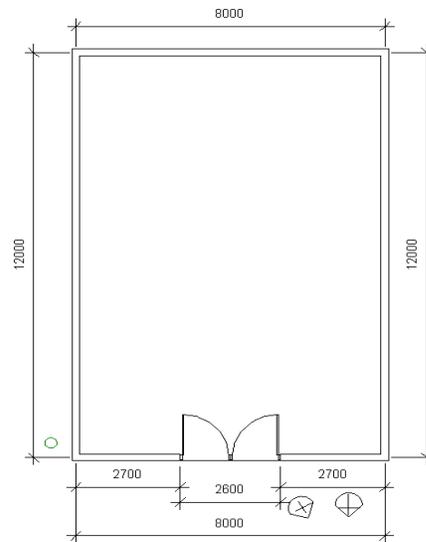


Figura 23. Plano arquitectónico del diseño de la cámara de pre-frío, con sus respectivas medidas.

IV. CONCLUSIONES

- Las condiciones de almacenamiento durante la cosecha y post cosecha para las cerezas variedades Lapins y Sweet Heart en el Predio Santa Elena durante la temporada 2021-22, fueron; la cosecha tuvo una duración 9 días corridos, (23 al 31 de diciembre, 2021), el tiempo promedio empleado por cosechador desde que desprende el fruto hasta que llega a la “Estación Entrehileras” fue de 12’10” promedio; la temperatura promedio interna del fruto, en el árbol fue de 25°C, siendo la máxima de 37°C y en la estación “Entre Hilera” fue de 23°C, siendo la temperatura máxima de 34°C. La producción estimada de la temporada fue de 34.235kg, con un rendimiento 713kg h⁻¹.
- Del análisis de las condiciones edafo-climáticas que afectan al predio Santa Elena, se obtuvo que; para la base de datos Meteored, se obtuvo una temperatura ambiental promedio para el huerto de 20°C, siendo la máxima de 22°C y la estación ubicada en el predio, mostró una temperatura ambiental promedio de 20°C con una máxima de 29°C. Para el parámetro de humedad relativa ambiental, la base de datos Meteored arrojó un promedio de 76%, siendo mayor que lo mostrado por la estación ubicada en el predio, la cual obtuvo una humedad relativa promedio de 65%. En cuanto al suelo, presenta un pH entre 5,8 y 6 y con una conductividad térmica de 0,8W m⁻² °C⁻¹.
- El diseño del intercambiador geotérmico de baja entalpía propuesto, para bajar la temperatura de 850kg/h de cerezas, de 30 a 15°C, en 2h y 30min, considera una dimensión de la tubería de PVC de 208m de largo y 0,11m de diámetro a 3m de profundidad.

V. BIBLIOGRAFÍA

1. Bleicher, A., A. Pehlken. 2020. The material basis of energy transitions. Elsevier. San Diego, USA.
2. Candan, A.P. 2006. Cosecha y poscosecha de cerezas. Frutic. Diversif. (50): 32-38.
3. CORMA (Corporación Nacional de la Madera). (Chile). 2016. Unidad 14 aislamiento y ventilación. pp: 335-371. En: La construcción de viviendas en madera. CORMA. Santiago, Chile.
4. Dellinger, M. 2012. Formación y sistemas de conducción del cerezo dulce. Boletín INIA N°247. INIA Carillanca. Temuco, Chile.
5. Ferrada, S., M. Dellinger. 2003. Cerezas: diversificación productiva para la zona sur de Chile. Tierra Adentro (51): 16-19.
6. Fuenzalida, F.A. 2014. Diseño y evaluación de un intercambiador de calor para recuperar energía geotérmica de muy baja entalpía. Memoria de título, Ingeniero Civil Mecánico. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago, Chile.
7. Grau, P., Y. Salvadores y C. Hahn. 2020. Frutales mayores en la Región de Ñuble: hacia la necesaria consolidación. pp: 245-249. In: J.A. González (Ed.). Agricultura de la nueva Región de Ñuble: una caracterización sectorial. Colección Libros INIA N°39. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
8. Isotermia. 2013. Cómo aislar correctamente la solera de una cámara frigorífica [en línea]. Isotermia, España. <<https://www.camarasfrigorificas.es/blog/como-aislar-correctamente-la-solera-de-una-camara-frigorifica/>>. [Consulta: 15 marzo 2022].

9. Larrañaga, P., M.A. Osoreo. 2019. Catastro frutícola Región de Ñuble. Principales resultados /Julio 2019. ODEPA. CIREN. Santiago, Chile.
10. Redagráfica. 2020. (111). Santiago, Chile.

VI. APÉNDICE

Tabla 11. Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 23 de diciembre para variedad Lapins y sus respectivos promedios.

Hora	Lugar	Temperatura °C				
8:00	Árbol	16,6	15,9	16	16,5	15,4
8:15	Entre Hileras	15,6	14,6	16,4	16	16,1
9:00	Árbol	28,4	26,3	21,1	17,5	21,5
9:15	Entre Hileras	15,5	15,8	17,6	19,3	17,8
10:00	Árbol	25,1	25,4	24,5	25,1	26,3
10:15	Entre Hileras	19,7	21,7	19,7	19,4	18,3
11:00	Árbol	28,7	32,8	25,8	27,6	29
11:15	Entre Hileras	25,6	25,4	26	27,3	27,6
12:00	Árbol	30,6	30	34,7	30,5	31,4
12:15	Entre Hileras	24,4	24,2	23,8	24,5	24,9
1:00	Árbol	33,4	33,8	31,3	36,7	31,4
1:15	Entre Hileras	34,4	32	32,9	33,5	32,4
Promedio	Árbol	26,3				
	Entre Hileras	22,7				

Tabla 12. Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 24 de diciembre para variedad Lapins y sus respectivos promedios.

Hora	Lugar	Temperatura °C				
8:00	Árbol	13,1	16	20,4	17,4	15
8:15	Entre Hileras	12,3	12,9	12,7	12,7	13
9:00	Árbol	19,1	26,3	25,9	21,2	22,5
9:15	Entre Hileras	20,3	18,3	18,7	20,3	19,9
10:00	Árbol	26,9	26,1	31,4	29,3	33,4
10:15	Entre Hileras	26,4	25,9	24,4	25,2	29,1
11:00	Árbol	27,2	33,2	27	32,2	33,1
11:15	Entre Hileras	26,3	27,9	28,1	26,8	26,6
12:00	Árbol	34,2	35	34,2	34,6	36,5

12:15	Entre Hileras	27,3	25,9	26,3	25,6	26,5
1:00	Árbol	33,2	31,5	34,3	34,7	31,9
1:15	Entre Hileras	32,9	32,6	32,7	31,2	32,3
Promedio	Árbol				27,9	
	Entre Hileras				24	

Tabla 13. Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 27 de diciembre para variedad Sweet Heart y sus respectivos promedios.

Hora	Lugar	Temperatura °C				
11:00	Árbol	27,7	24,7	28,8	28,3	26,7
11:15	Entre Hileras	24,9	24,6	24,8	22,7	21,8
12:00	Árbol	29,4	28,9	28,1	28,4	28,2
12:15	Entre Hileras	29,9	27	29,3	28,6	28,6
1:00	Árbol	27,9	28,9	29	29,1	30,9
1:15	Entre Hileras	28,1	28	28,6	28,3	27,9
Promedio	Árbol				28,3	
	Entre Hileras				26,9	

Tabla 14. Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 28 de diciembre para variedad Sweet Heart.

Hora	Lugar	Temperatura °C				
8:00	Árbol	12	15	13	12	12
8:15	Entre Hileras	14	11	12	12	11
9:00	Árbol	17	16	17	21	20
9:15	Entre Hileras	18	19	19	20	19
10:00	Árbol	29	29	27	26	26
10:15	Entre Hileras	22	22	23	21	21
Promedio	Árbol				19,5	
	Entre Hileras				17,6	

Tabla 15. Temperaturas (°C) a diferentes horas y cuando la fruta se encuentra en el árbol y entre las hileras, del 30 de diciembre para variedad Sweet Heart y sus respectivos promedios.

Hora	Lugar	Temperatura °C					
		8:00	Árbol	13,6	13,5	17,7	16,7
8:15	Entre Hileras	15	15,6	16	15,1	15,3	
9:00	Árbol	19,8	17,3	18,4	16,9	17,2	
9:15	Entre Hileras	16,8	17	17	17,3	17,1	
10:00	Árbol	19,7	19,6	19,8	20	20,3	
10:15	Entre Hileras	20,3	23,8	24,3	24,8	24,3	
11:00	Árbol	22,1	20,2	21,4	29,1	28,2	
11:15	Entre Hileras	23,8	22,6	24,2	23,8	24,6	
12:00	Árbol	22,4	21,8	26,1	26,3	29	
12:15	Entre Hileras	28,7	28,2	25,4	26,8	27,6	
1:00	Árbol	28,4	25,6	29,5	29,6	28,5	
1:15	Entre Hileras	26,3	28,5	26,9	26,1	26,5	
Promedio	Árbol				21,8		
	Entre Hileras				22,3		

Tabla 16. Temperaturas (°C) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 23 de diciembre para variedad Lapins.

Hora	T° inside (°C)	T° outside (°C)	Inside (%)	Outside (%)
8:00	16 °C	11 °C	67%	96%
9:00	15 °C	16°C	74%	81%
10:00	17 °C	18°C	70%	72%
11:00	20 °C	20 °C	64%	69%
12:00	22 °C	22 °C	61%	63%
1:00	24°C	24°C	53%	58%

Tabla 17. Temperaturas (°C) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 24 de diciembre para variedad Lapins.

Hora	T° inside (°C)	T° outside (°C)	Inside (%)	Outside (%)
8:00	14 °C	11 °C	70%	91%
9:00	16 °C	16°C	75%	79%
10:00	16 °C	19°C	74%	72%
11:00	19 °C	21 °C	69%	63%
12:00	21 °C	23 °C	59%	56%
1:00	24°C	24°C	52%	55%

Tabla 18. Temperaturas (°C) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 27 de diciembre para variedad Sweet Heart.

Hora	T° inside (°C)	T° outside (°C)	Inside (%)	Outside (%)
11:00	23°C	25°C	57%	52%
12:00	25°C	28°C	52%	46%
1:00	27°C	29°C	44%	41%

Tabla 19. Temperaturas (°C) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 28 de diciembre para variedad Sweet Heart.

Hora	T° inside (°C)	T° outside (°C)	Inside (%)	Outside (%)
8:00	17°C	12°C	61%	91%
9:00	17°C	19°C	70%	74%
10:00	20°C	21°C	69%	70%

Tabla 20. Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) en el interior de la zona de carga y en el ambiente, del 31 de diciembre para variedad Sweet Heart.

Hora	T° inside ($^{\circ}\text{C}$)	T° outside ($^{\circ}\text{C}$)	Inside (%)	Outside (%)
8:00	14 $^{\circ}\text{C}$	10 $^{\circ}\text{C}$	56%	77%
9:00	12 $^{\circ}\text{C}$	13 $^{\circ}\text{C}$	62%	68%
10:00	14 $^{\circ}\text{C}$	17 $^{\circ}\text{C}$	56%	53%
11:00	17 $^{\circ}\text{C}$	19 $^{\circ}\text{C}$	43%	42%
12:00	19 $^{\circ}\text{C}$	21 $^{\circ}\text{C}$	39%	38%
1:00	22 $^{\circ}\text{C}$	24 $^{\circ}\text{C}$	38%	36%

Tabla 21. Largo final (L_{final}) del intercambiador de calor con diámetro de tubería de 0,05m y del tiempo necesario para la remoción del calor al interior de la cámara de pre-frío.

Datos	Valores	Unidad de medida
Masa cerezas	850	Kg/h
T_{as}	15	$^{\circ}\text{C}$
T_{ae}	30	$^{\circ}\text{C}$
T_{terreno}	12	$^{\circ}\text{C}$
\emptyset	0,05	m
E	0,0088	m
Profundidad	3	m
V	4	m s^{-1}
Λ	0,16	$\text{W m}^{-1}\text{C}^{-1}$
L_{final}	95	m
Remoción de calor 12 h 30 min		

Tabla 22. Largo final (L_{final}) del intercambiador de calor con diámetro de tubería de 0,25m y del tiempo necesario para la remoción del calor al interior de la cámara de pre-frío.

Datos	Valores	Unidad de medida
Masa cerezas	850	Kg/h
T_{as}	15	°C
T_{ae}	30	°C
$T_{terreno}$	12	°C
\emptyset	0,25	M
e	0,0088	M
Profundidad	3	M
v	4	m s ⁻¹
λ	0,16	W m ⁻¹ °C ⁻¹
L_{final}	472,4	M
Remoción de calor 30 min		

Tabla 23. Presupuesto de la instalación del intercambiador de calor y de la construcción de la cámara de pre-frío.

ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	PRECIO TOTAL
Limpieza	m3	9,6	\$ 12.190	\$ 117.024
Trazado	gl	-	\$ 250.000	\$ 250.000
Excavación	m3	288	\$ 12.400	\$ 3.571.200
Colocación Tubería	ml	208	\$ 28.650	\$ 5.959.200
Relleno	m3	288	\$ 22.380	\$ 6.445.440
Radier	m3	9,6	\$ 82.250	\$ 789.600
Complementos de radier	m2	96	\$ 28.890	\$ 2.773.440
Revestimiento Tabique	m2	148	\$ 12.659	\$ 1.873.570
Revestimiento cielo	m2	96	\$ 12.659	\$ 1.215.289
				\$ 22.994.763

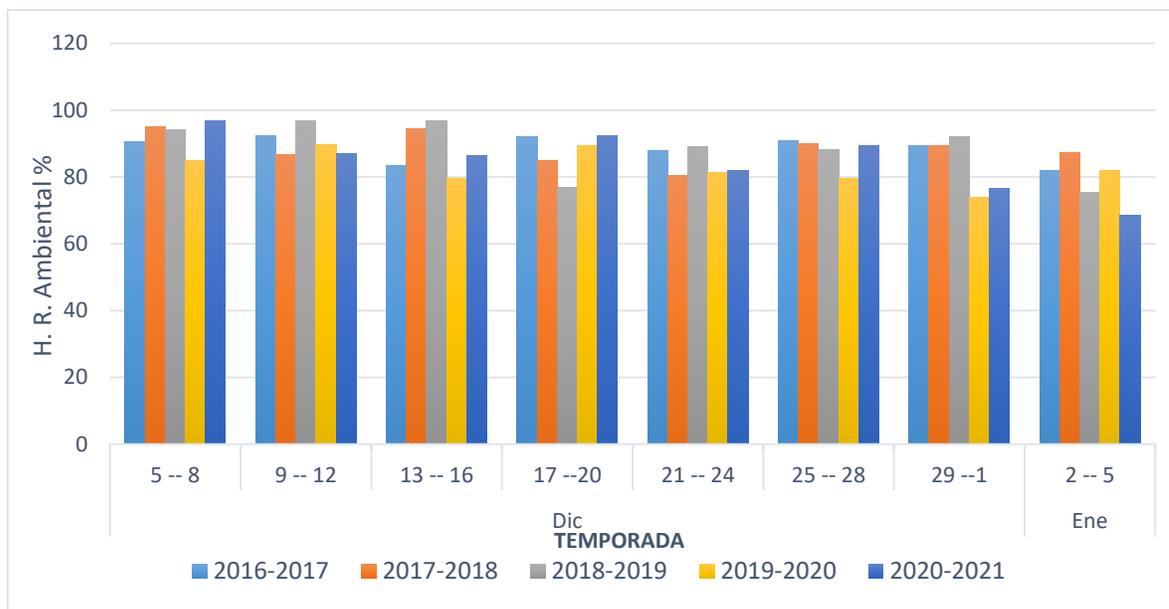


Figura 24. Humedad relativa ambiental promedio durante la temporada de cosecha en diferentes años, medido a las 8:00am.

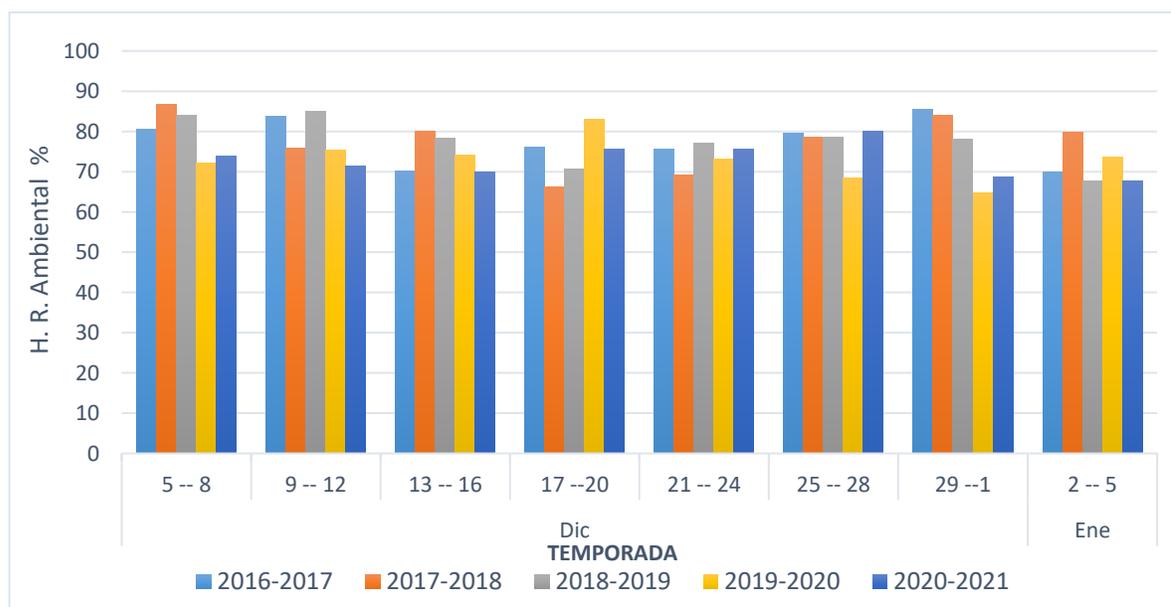


Figura 25. Humedad relativa ambiental promedio durante la temporada de cosecha en diferentes años, medido a las 12:00am.

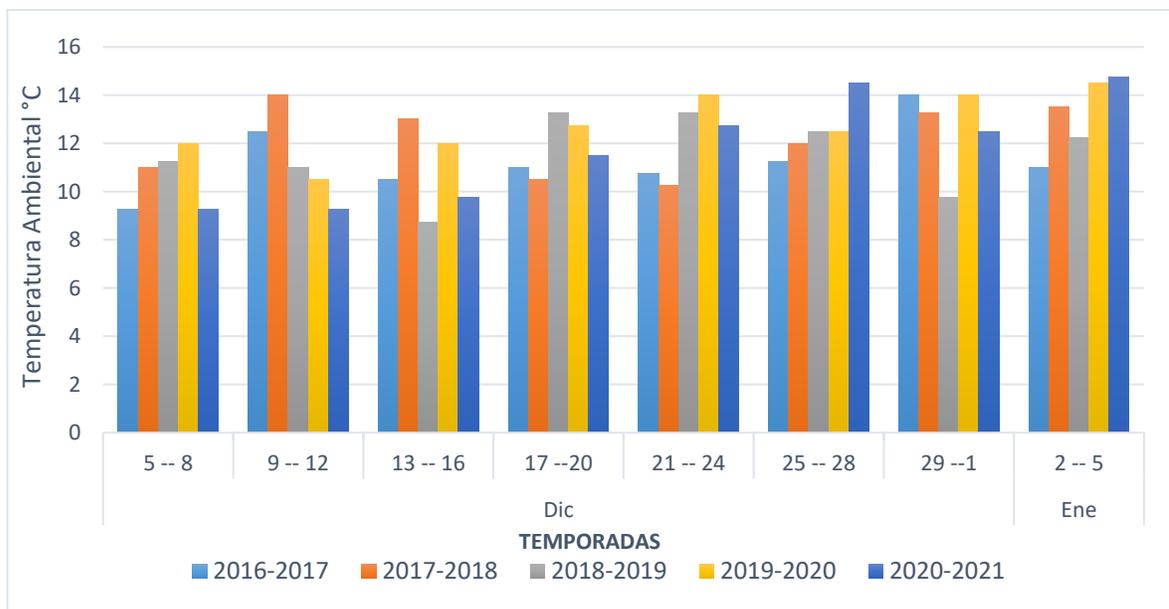


Figura 26. Temperatura ambiental promedio durante la temporada de cosecha en diferentes años, medido a las 8:00am.

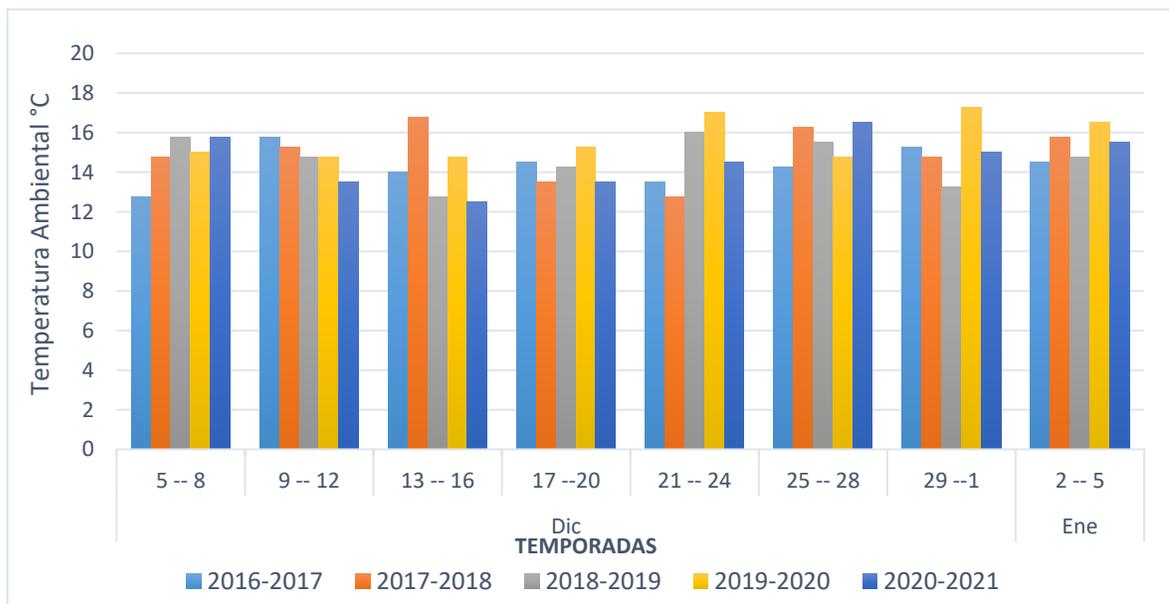


Figura 27. Temperatura ambiental promedio durante la temporada de cosecha en diferentes años, medido a las 12:00am.

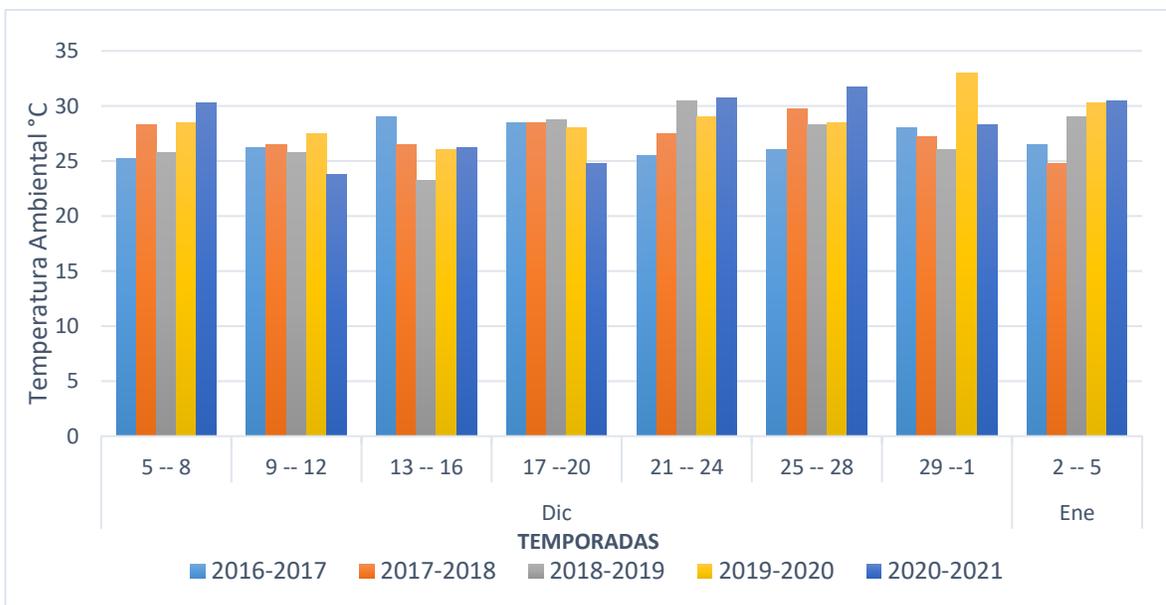


Figura 28. Temperatura ambiental máxima promedio, durante la temporada de cosecha en diferentes años.

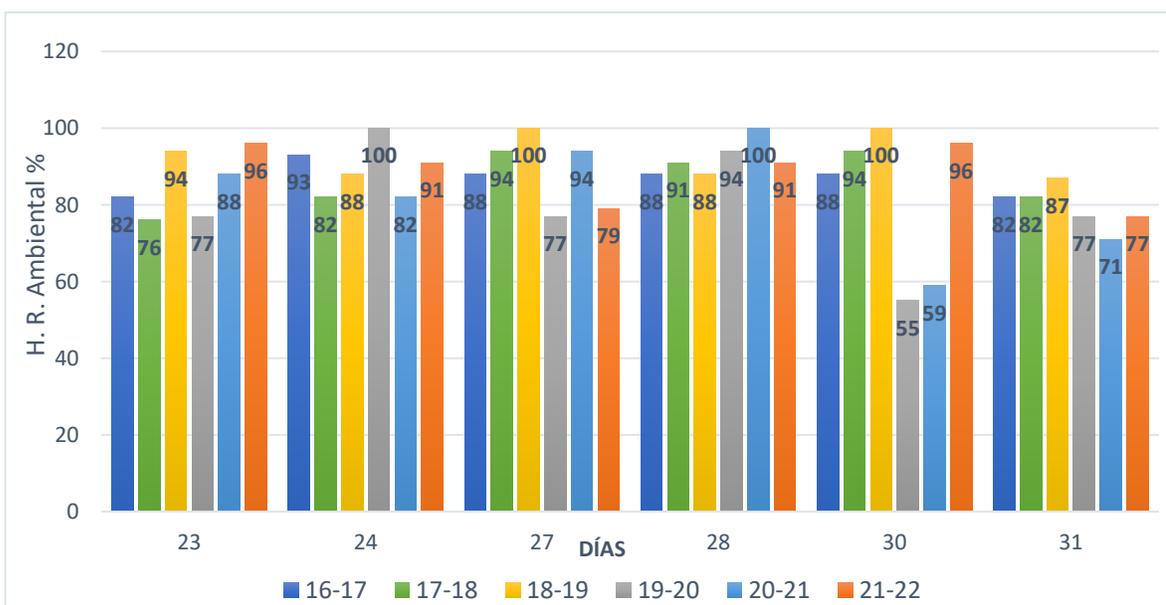


Figura 29. Comparación de humedad relativa históricas recopiladas en la base de datos con la humedad relativa medidas en terreno durante la cosecha a las 8:00am.

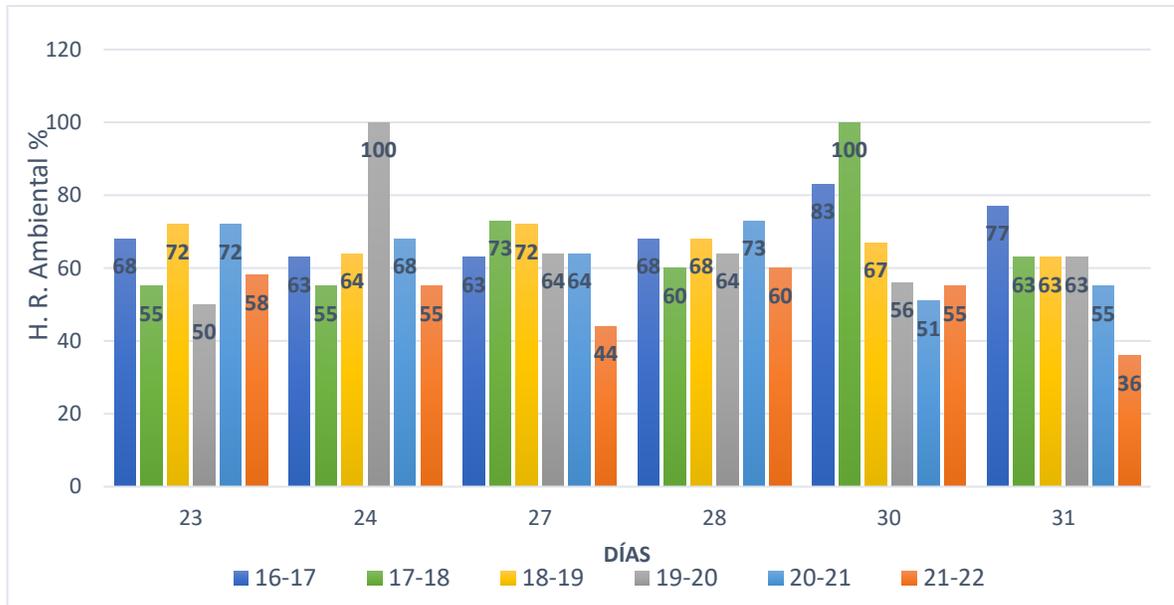


Figura 30. Comparación de humedad relativa históricas recopiladas en la base de datos con la humedad relativa medidas en terreno durante la cosecha a las 1:00pm.

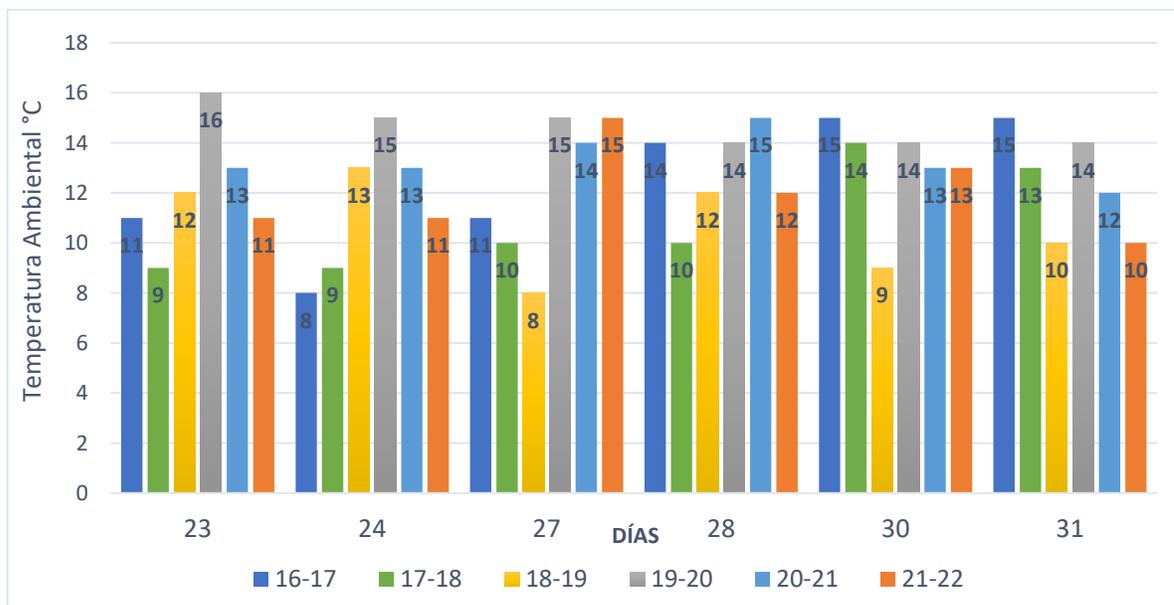


Figura 31. Comparación de temperaturas históricas recopiladas en la base de datos con temperaturas medidas en terreno durante la cosecha a las 8:00am.

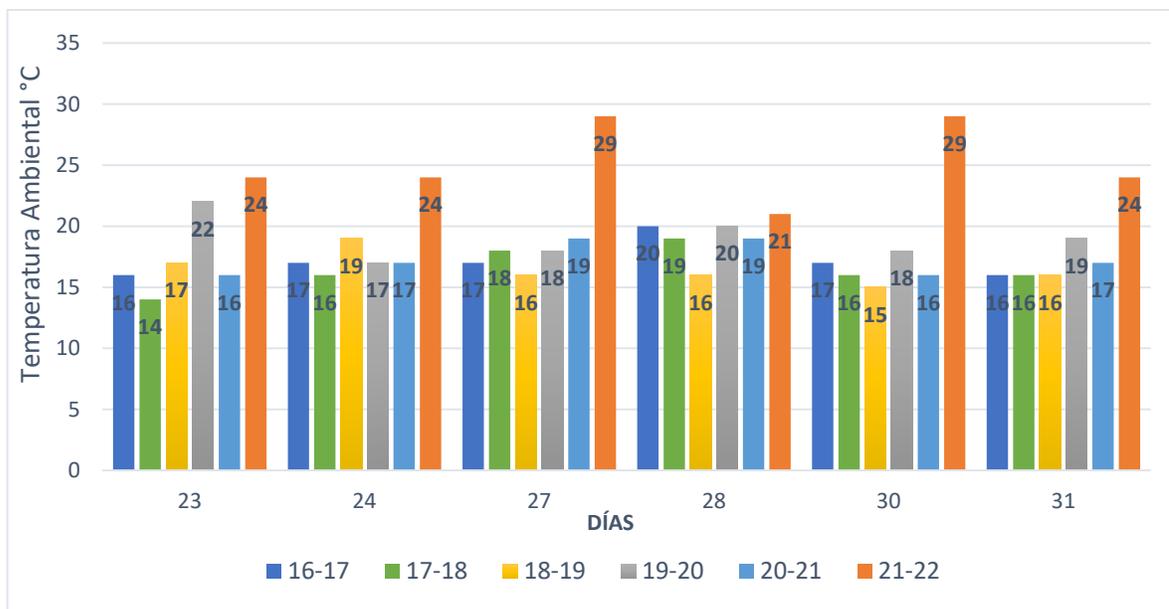


Figura 32. Comparación de temperaturas históricas recopiladas en la base de datos con temperaturas medidas en terreno durante la cosecha a las 1:00pm.