

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**DIMENSIONAMIENTO DE CÁMARAS DE PRE-FRÍO PARA ARÁNDANOS
DE EXPORTACIÓN**

MARJORIE MURIEL SEPÚLVEDA MEDINA

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERIA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA ORTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA AGROINDUSTRIAL

CHILLÁN-CHILE

2022

DIMENSIONAMIENTO DE CÁMARAS DE PRE-FRÍO PARA ARÁNDANOS DE EXPORTACIÓN

Aprobado por:

Pedro Santiago Melín Marín

Ingeniero Agrónomo, M.S., Dr. (c)

Profesor Asociado

Profesor Guía

María Eugenia González Rodríguez

Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

Profesora Asociada

Profesor Asesor

Johannes de Bruijn

Ingeniero en Alimentos, Dr.

Profesor Asociado

Profesor Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis está dedicado con mucho amor a mis padres, hermano, pareja y amigas, que son un pilar fundamental en mi formación profesional. Quiero agradecer a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han confiado estos 7 años en mis capacidades y han fomentado en mí, el deseo de superación y triunfo en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Prize Proservice S.A. por facilitarme la información necesaria para el desarrollo del trabajo de investigación “Dimensionamiento de cámaras de pre-frío para arándanos de exportación”.

A la Universidad de Concepción y a la Facultad de Ingeniería Agrícola, por todos los conocimientos y experiencias entregadas durante los años de estudio.

A los profesores de mi comisión, por brindarme su apoyo y orientación en la realización de mi tesis.

Al profesor Pedro Santiago Melín Marín, profesor guía, por su paciencia, dedicación y compromiso al momento de solicitar su ayuda durante mi proceso formativo.

A los funcionarios de la Facultad de Ingeniería Agrícola, por su disposición a diario con el alumnado.

ÍNDICE DE MATERIAS

RESUMEN.....	12
SUMMARY.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 La historia de la refrigeración.....	18
3.2 La importancia de la refrigeración.....	19
3.3 Ciclo de refrigeración.....	20
3.4 Ciclo ideal de refrigeración.....	21
3.5 Determinación de carga de enfriamiento.....	22
3.6 Técnicas de aislamiento.....	24
3.7 Microbiología y refrigeración de alimentos.....	24
3.7.1 Microbiología básica.....	25
3.7.2 Fuentes de microorganismos.....	27
3.7.3 Crecimiento microbiano.....	27
3.7.4 Requisitos críticos de crecimiento microbiológico.....	29
3.8 Transpiración del fruto.....	37
3.9 Respiración del fruto.....	38
3.10 Antecedentes generales del arándano.....	39
3.11 Requerimientos de suelo y clima de arándanos.....	42
3.12 Requerimientos climáticos del arándano.....	43
3.13 Cosecha de arándanos.....	44
3.14 Manejo de temperatura y humedad relativa en postcosecha de arándanos.....	48
3.15 Pre-frío en arándanos.....	50
3.16 Aplicación de atmósferas modificadas o controladas en arándanos.....	51
3.17 Embalaje de arándanos.....	53
3.18 Criterios generales: Cálculo de necesidades frigoríficas.....	55

3.18.1	Requerimiento total de refrigeración	55
3.18.2	Cálculo del calor generado por la respiración del producto	56
3.18.3	Calor generado por el producto	57
3.18.4	Calor de los envases de plástico	58
3.18.5	Calor de los pallets	59
3.18.6	Calor de cargas misceláneas (pared, piso y techo)	60
3.18.7	Calor por cambios de aire.....	62
3.18.8	Calor liberado por los motores.....	63
3.18.9	Calor liberado por las personas	64
3.18.10	Calor liberado por la iluminación interior.....	65
3.18.11	Calor total que ingresa, sumando los calores involucrados.....	66
3.18.12	Cálculo de potencia del compresor.....	66
3.19	Diagrama de flujo de arándanos.....	67
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	68
4.1	Obtención de datos.....	68
4.1.1	Información acerca de los túneles	68
4.1.2	Información acerca de los envases y embalajes	69
4.2	Determinación de carga de enfriamiento	70
4.2.1	Carga de enfriamiento para cámara de pre-frío de ingreso	70
4.2.2	Carga de enfriamiento para cámara de pre-frío de embarque.....	70
5.	RESULTADOS.....	71
5.1	Calor generado por la respiración del producto en materia prima	71
5.2	Calor generado por la respiración del producto en producto terminado.....	72
5.3	Calor generado por el producto como materia prima.....	76
5.4	Calor generado por el arándano como producto terminado	77
5.5	Calor de los envases plásticos en pre-frío de ingreso	80
5.6	Calor de los envases plásticos en pre-frío de producto terminado	81
5.7	Calor de pallets en pre-frío de ingreso.....	83
5.8	Calor de pallets en pre-frío de producto terminado.....	84
5.9	Calor de cargas misceláneas en pre-frío de materia prima	85
5.10	Calor de cargas misceláneas en pre-frío de producto terminado	86

5.11 Calor generado por motores en túnel de materia prima	88
5.12 Calor generado por motores en túnel de producto terminado.....	88
5.13 Calor generado por luces en túnel de pre-frío	89
5.14 Calor generado por personas en el túnel.....	890
5.15 Calor total que ingresa.....	91
5. LITERATURA CITADA.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Actividad de agua mínima aproximada para el crecimiento de microorganismos.....	36
Tabla 2. Suplementos de temperaturas por radiación solar (en °C).....	62
Tabla 3. Potencia calorífica aportada por las personas	65
Tabla 4. Tipos de clamshell dependiendo del destino.....	69
Tabla 5. Tipos de cajas y pallets dependiendo del destino	69
Tabla 6. Calor generado por respiración del producto en materia prima..	71
Tabla 7. Calor generado por respiración del producto en Sweet Fruit.....	72
Tabla 8. Calor generado por respiración del producto en Sweet Blue ...	73
Tabla 9. Calor generado por respiración del producto en Calgiant.....	74
Tabla 10. Calor generado por respiración del producto Sweet Blue a granel	75
Tabla 11. Calor generado por el producto como materia prima.....	76
Tabla 12. Calor generado por el arándano en embalaje Sweet Fruit.....	77
Tabla 13. Calor generado por el arándano en embalaje Sweet Blue.....	78
Tabla 14. Calor generado por el arándano en embalaje Calgiant.....	79
Tabla 15. Calor generado por el arándano en embalaje Sweet Blue a granel.....	79
Tabla 16. Calor de bandejas cosecheras.....	80
Tabla 17. Calor de los diferentes embalajes	83
Tabla 18. Calor de pallet en pre-frío de materia prima.....	83
Tabla 19. Calor de pallet en cámara de producto terminado.....	84

Tabla 20. Calor por paredes, piso y techo en cámara de materia prima.....	86
Tabla 21. Calor de paredes, piso y techo en cámara de producto terminado.....	87
Tabla 22. Calor generado por motores en cámara de materia prima.....	88
Tabla 23. Calor generado por motores en cámara de producto final.....	89
Tabla 24. Calor generado por luces en cámaras de pre-frío.....	90
Tabla 25. Calor generado por personas en cámara de pre-frío.....	90
Tabla 26. Resumen del total de calor que ingresa dependiendo del embalaje.....	92
Tabla 27. Requerimiento total de frío para la materia prima.....	94
Tabla 28: Requerimiento total de frío para producto terminado.....	94
Tabla 29. Requerimiento total de frío para materia prima, aplicando diagrama de amoniaco.....	94
Tabla 30. Requerimiento total de frío para producto terminado aplicando diagrama de amoniaco.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema de la organización de los elementos en un ciclo de refrigeración (ASHRAE, 2014).....	20
Figura 2. Ciclo de refrigeración o de Rankine invertido (ASHRAE. 2014).	21
Figura 3. Curva típica de crecimiento microbiano.....	29
Figura 4. Planta y fruto del arándano.....	40
Figura 5. Exigencias en la acumulación de horas-frío del arándano (Parodi, 2017).....	43
Figura 6. Tipos de cosecha del arándano.....	44
Figura 7. Pallet de materia prima	72
Figura 8. Arándanos destino a China envasados.....	73
Figura 9. Arándanos destino a Estados Unidos envasados.....	74
Figura 10. Arándanos destino a Estados Unidos envasados.....	75
Figura 11. Arándanos destino a China envasados	76
Figura 12. Arándanos como materia prima.....	77
Figura 13. Bandejas cosecheras de 2,5 kilogramos.....	80
Figura 14. Clamshell, bolsa y caja para exportación a China.....	81
Figura 15. Clamshell, bolsa y caja para exportación a Estados Unidos..	81
Figura 16. Clamshell, bolsa y caja para exportación a Estados Unidos..	82
Figura 17. Bolsa y caja para exportación a Europa.....	82
Figura 18. Pallet taco para materia prima.....	84
Figura 19. Pallet taco para producto terminado	85
Figura 20. Pallet yugo para producto terminado.....	85
Figura 21. Cámara de pre-frío para materia prima.....	86
Figura 22. Cámara de pre-frío para producto terminado.....	87
Figura 23. Motores en pre-frío para producto terminado.....	89

Figura 24. Luces en cámara de pre-frío para materia prima.....	90
Figura 25. Cámara de pre-frío con producto terminado.....	92
Figura 26. Diagrama de presión de entalpía del amoniaco.....	95

DIMENSIONAMIENTO DE CÁMARAS DE PRE-FRÍO PARA ARÁNDANOS DE EXPORTACIÓN

Palabras claves: Cámara de pre-frío, temperatura, dimensión, materiales de envase y embalaje.

RESUMEN

Chile hoy en día es el mayor exportador de arándanos del hemisferio sur, con una red comercial en más de 100 países del mundo. Para una fruta pequeña y delicada como es el arándano el manejo del frío para su comercialización es de vital importancia, ya que se busca llegar a destino con una fruta de alta calidad. El objetivo de este proyecto fue evaluar las dimensiones y requerimientos de cámaras y túneles de pre-frío para arándanos de exportación. Las cámaras que se utilizaron son propiedad de la empresa Prize Proservice S.A. realizando los cálculos correspondientes de transferencia de calor, tanto del fruto como de los materiales participantes en el producto final para tener una mejor calidad de este en momento de exportar. Se determinaron los requerimientos de enfriamiento de cámara de pre frío durante la recepción de fruta en 531,7 kW y los requerimientos de enfriamiento de producto envasado y embalado posterior a la selección y para los diversos formatos de destino en 47,5 kW.

DIMENSIONS OF PRECOOLING AND COOLING CHAMBERS FOR EXPORT BLUEBERRIES

Keywords: Pre cooling chamber, temperature, dimension, packaging material.

SUMMARY

Chile is the largest exporter of blueberries in the southern hemisphere, with a commercial network in more than 100 countries in the world. For a small and delicate fruit such as blueberry, cold management for its commercialization is of vital importance, since it seeks to reach destination with a high quality fruit.

The objective of this study was to evaluate the dimensions and requirements of chambers and tunnels for export blueberries. The cameras that were used were owned by the company Prize Proservice S.A. performing the corresponding heat requirement calculations, both of the fruit and of the used materials in the final product to have a better quality at the moment of export. Cooling requirements for the precooling operation of blueberry fruit during incoming of fruit (531.7 kW), and after clamshells filling and boxing after fruit classification (47.5 kW) were calculated for different types of exports destiny.

1. INTRODUCCIÓN

Lo primero que se nos viene a la imaginación cuando se menciona el tema de refrigeración es su gran utilidad para la conservación de alimentos. Esta aplicación ha venido utilizándose a lo largo de la historia, pero hoy día, adquiere mucha más importancia, ya que constituye uno de los principales campos de aplicación de toda la industria del frío. Entre los principales alimentos sujetos a procesos de refrigeración se encuentran las carnes, los pescados, las frutas y los vegetales en general. Ya sabemos que una parte muy importante de las aplicaciones frigoríficas está destinada a la conservación de vegetales. Estos productos tienen una composición y características que es útil conocer para llevar a cabo la manipulación de las mismas, el control de su almacenamiento y su desarrollo frigorífico, y como consecuencia, procede a realizar su tratamiento en las condiciones más idóneas para su conservación y comercialización (Ramírez, 2000).

En abril de 2021, la temporada de exportaciones de arándanos chilenos llegó a su fin con 117.816 mil toneladas enviadas a los diferentes mercados del mundo, lo que significó un incremento de 8% respecto al ejercicio anterior. Un récord que se produce en el marco de una temporada compleja, pero donde la industria chilena ha podido enfrentar los desafíos, potenciando la calidad de las exportaciones de esta súper fruta, pero también promocionando sus atributos y aportes para la salud de las personas.

En términos de mercados, EE.UU. aumentaron 14% y Europa 13%. Mientras que Asia bajó un 27% debido a la baja de un 46% en China, mientras Corea creció 52% y Taiwán 35%. Asimismo, destacó que a pesar de que el volumen aún es bajo, es decir 112 toneladas, vale la pena destacar el crecimiento de 233% en India.

En cuanto a la participación por mercado, EE.UU. concentraron el 53% del volumen exportado, Europa 34% y Asia 10%. El 3% restante tuvo como destino Canadá, Medio Oriente y América Latina (ASOEX, 2021).

El arándano es una baya casi esférica de 7 a 15 mm. De color azul claro a oscuro, de alto valor nutritivo y propiedades antioxidantes. Son frutos climatéricos, es decir que, cosechados a partir de la madurez fisiológica, que adquieren características similares a los unidos al arbusto. Sobreviene muy rápida su madurez, asociada a una pérdida de calidad, por lo que una vez cosechados, deben ser enfriados lo más rápido posible. Son susceptibles al desarrollo de enfermedades, en su mayoría causadas por hongos, produciendo importantes pérdidas si no son controladas.

El frío y el uso de atmósferas controladas o modificadas, son las técnicas más ampliamente utilizadas para reducir el deterioro postcosecha de las frutas, ya que disminuye la respiración, deprime el metabolismo de los frutos e inhibe el crecimiento de hongos y bacterias. La temperatura óptima para conservar la fruta es cercana a 0°C, con una humedad relativa entre 90 y 95%. Estas

condiciones permiten mantener la calidad durante alrededor de 14 días (Vuarant, 2010).

Para una rápida y mejor calidad de exportación de arándanos se deben tener en cuenta las condiciones de almacenaje y temperatura en las que se encuentran, buscando la manera más eficiente para estos en los pre-fríos correspondientes. Uno de los factores más importantes para realizar este proceso de la mejor manera, es controlar las temperaturas a las que llega el producto, a las que se mantienen en los pre-fríos de materia prima y en los pre-fríos de producto terminado. Por tanto, en este trabajo se van a realizar diversos cálculos de calor para optimizar las condiciones de enfriamiento de la fruta para una agroindustria en particular.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las dimensiones y requerimientos de cámaras y túneles de pre-frío para arándanos de exportación para una empresa local.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de los requerimientos (máximos y mínimos) de enfriamiento para las condiciones extremas de cosecha de arándanos en la región de Ñuble.
- Evaluar la carga de enfriamiento para reducir la temperatura de arándanos en proceso de pre-frío.
- Evaluar y validar la carga de enfriamiento para arándanos en post-proceso de envasado y paletizado.
- Proponer recomendaciones de manejo y operación de las cámaras de pre-frío.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 La historia de la refrigeración

El concepto de refrigeración, está relacionado con el enfriamiento del aire o de líquidos, para proporcionar temperaturas que permitan preservar los alimentos, enfriar bebidas, fabricar hielo y muchas otras aplicaciones. El acondicionamiento de aire incluye el enfriamiento, la calefacción, la humidificación y deshumidificación de interiores, el filtrado de aire y la ventilación, con los objetivos de acondicionar y mejorar la calidad del aire interior.

Casi todas las evidencias apuntan a que fueron los chinos los primeros en almacenar hielo y nieve para enfriar alimentos. Se han encontrado pruebas de que los sótanos de almacenamientos de hielo se utilizaban en China ya en el año 1000 A.C. Los griegos y los romanos también utilizaban, para guardar hielo, almacenes subterráneos, que cubrían con paja, maleza y otros materiales para proporcionar aislamiento y preservar el hielo durante largos periodos de tiempo.

En 1834, el estadounidense Jacob Perkins desarrolló un sistema de refrigeración cerrado, utilizando el mecanismo de expansión de un líquido y de compresión para producir un efecto de enfriamiento. Utilizó éter como refrigerante, un compresor operado a mano, un condensador enfriado por agua y un evaporador, para construir un enfriador de líquidos, obteniendo una

patente para este sistema en el Reino Unido. Ese mismo año, también en el Reino Unido, J. W. Wright produjo hielo mediante la expansión de aire comprimido. Los aparatos de refrigeración mecánica fueron desarrollados en primer lugar para producir hielo.

Durante el siglo XIX, fueron diseñados otros sistemas de refrigeración en los EE.UU., en Australia y en Inglaterra. En los años siguientes, se realizaron muchas mejoras en los diseños de los equipos y, en la década de 1930, la refrigeración estaba ya en proceso de ser utilizada ampliamente en las casas y comercios (Whitman y Johnson, 2000).

3.2 La importancia de la refrigeración

La refrigeración detiene el crecimiento bacteriano. Las bacterias existen en la naturaleza. Éstas están en el suelo, aire, agua y en los alimentos. Cuando los alimentos tienen nutrientes, humedad y temperatura favorable, éstas crecen rápidamente, aumentando en número hasta el punto donde algunas bacterias pueden causar enfermedades. Las bacterias crecen rápidamente en un rango de temperatura entre 40 y 140 °F, (4,4 °C y 60 °C), la “Zona de Peligro”, algunas duplicándose en número en tan poco tiempo como en 20 minutos. Un refrigerador puesto a 40 °F (4,4 °C) o menos puede proteger la mayoría de los alimentos (USDA, 2010).

3.3 Ciclo de refrigeración

El ciclo de refrigeración tiene como objetivo retirar calor de una fuente fría y entregarlo a una fuente caliente. Cuenta con cuatro elementos principales el evaporador, el compresor, el condensador y la válvula de expansión (ASHRAE, 2014). El diagrama esquemático de dicho ciclo se puede ver a continuación, en la Figura 1.

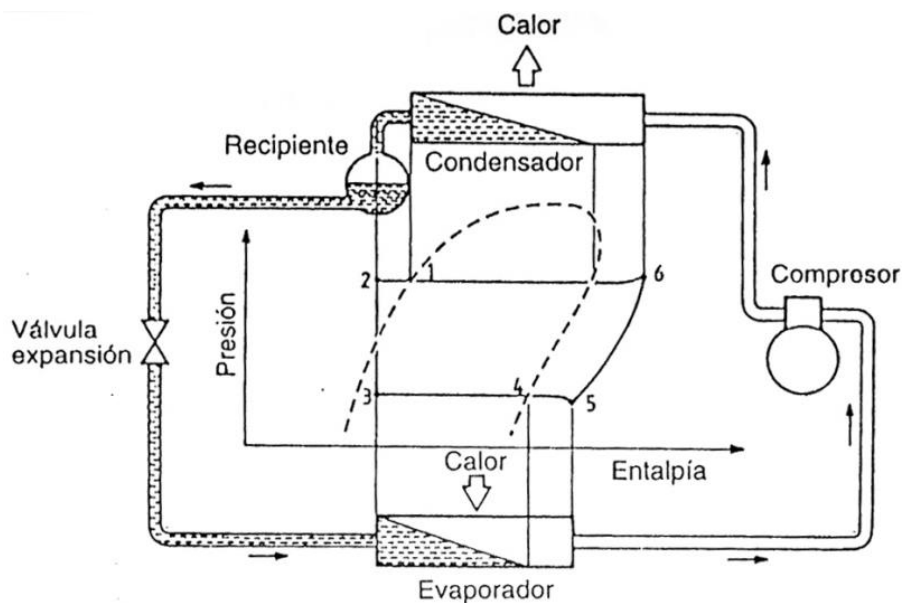


Figura 1. Esquema de la organización de los elementos en un ciclo de refrigeración (ASHRAE, 2014).

El evaporador tiene como función absorber calor desde el ambiente frío, evaporando el refrigerante que circula por su interior. El compresor comprime el refrigerante en estado gaseoso (proveniente desde el evaporador) y lo lleva hasta la presión de condensación. El condensador libera el calor absorbido por el refrigerante en la evaporación y la compresión hacia el ambiente caliente,

esto lo hace condensando el refrigerante. La válvula de expansión permite que se produzca la baja de presión necesaria para que el refrigerante pueda evaporarse nuevamente en el evaporador (ASHRAE, 2014).

3.4 Ciclo ideal de refrigeración

Los componentes anteriormente mencionados operan según el ciclo de refrigeración o ciclo de Rankine invertido (ASHRAE, 2014) (Figura 2).

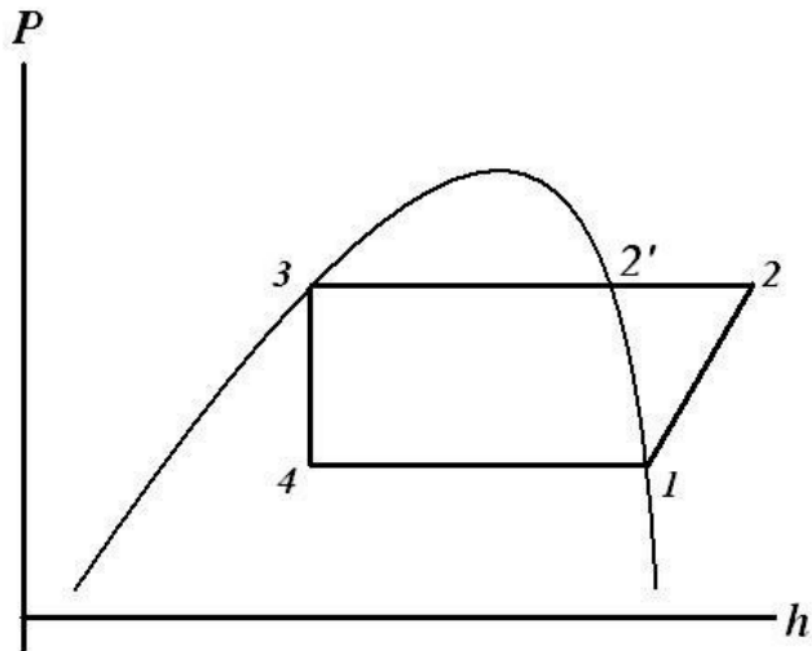


Figura 2. Ciclo de refrigeración o de Rankine invertido (ASHRAE, 2014).

El punto 1 corresponde a la entrada del refrigerante al compresor. En este, el refrigerante se encuentra justo en la zona de vapor saturado. El trayecto entre el punto 1 y 2 corresponde a la compresión (aumento de presión), la cual se considera como iso-entrópica. El punto 2 corresponde a la salida del compresor y a la entrada del condensador. Entre el punto 2' y 3 ocurre la

condensación del refrigerante. El punto 3 representa la salida del condensador y se encuentra sobre la línea de líquido saturado, es decir el refrigerante sale con título 0. Cabe mencionar que toda la secuencia, desde el punto 2 hasta el punto 3 es isobárica. En seguida el refrigerante se expande iso-entálpicamente hasta el punto 4, que corresponde a la entrada del evaporador. El evaporador absorbe calor, desde la cámara de producto, hasta evaporar completamente el refrigerante, o equivalentemente hasta el título 1. Luego de esto el refrigerante vuelve a entrar al compresor (punto1) para repetir el ciclo (ASHRAE, 2014).

3.5 Determinación de carga de enfriamiento

Las cargas para instalaciones refrigeradas de la misma capacidad varían ampliamente. Muchos factores, como el diseño del edificio, las temperaturas interiores y exteriores, y especialmente el tipo y el flujo de bienes esperados y la capacidad de congelación o refrigeración diaria, contribuyen a la carga. Por lo tanto, no se pueden aplicar reglas de diseño simples. La experiencia de edificios y operaciones comparables es valiosa, pero se debe analizar cualquier operación proyectada. El compresor y el equipo de refrigeración de la sala deben diseñarse para cumplir con los requisitos diarios máximos, que estarán muy por encima de cualquier promedio mensual.

Los factores de carga que deben considerarse incluyen:

- Transmisión de calor a través de recintos aislados.

- Carga de infiltración de calor y vapor del aire caliente que pasa al espacio refrigerado y balance de aire inadecuado.
- Calor de bombas o ventiladores permiten circular refrigerante o aire, equipos eléctricos, personal que trabaja en el espacio refrigerado, movimiento de producto, equipos y luces.
- El calor retirado de las mercancías al reducir su temperatura desde la recepción a las temperaturas de almacenamiento.
- El calor producido por los productos almacenados.
- Otras cargas, como aire acondicionado de oficinas, preenfriamiento de automóviles u operaciones especiales en el interior del edificio.

La humedad alta, las temperaturas elevadas o el manejo manual del producto pueden afectar drásticamente el diseño, particularmente el del sistema de refrigeración.

La carga de infiltración de calor varía enormemente con el tamaño de la habitación, la cantidad de aberturas para calentar áreas, la protección en aberturas, el tránsito a través de aberturas y las temperaturas y humedades del aire frío y caliente. El cálculo debe basarse en la experiencia, recordando que la mayor parte de la carga generalmente ocurre durante las operaciones diurnas (ASHRAE, 2014).

El calor es producido por muchos productos en almacenamiento más fresco, principalmente frutas y verduras. El calor de la respiración es un factor

importante, incluso a 0 ° C, y es una carga continua durante todo el período de almacenamiento. Las cargas de refrigeración deben calcularse para la ocupación máxima esperada de dichos productos (ASHRAE, 2014).

La manipulación manual del producto puede agregar un 30 a 50% más de carga a una instalación en áreas tropicales debido a la interrupción constante de las barreras de frío en las puertas y en los muelles de carga (ASHRAE, 2014).

3.6 Técnicas de aislamiento

Las dos funciones principales de un sobre de aislamiento son reducir los requisitos de refrigeración para el espacio refrigerado y evitar la condensación (ASHRAE, 2014).

3.7 Microbiología y refrigeración de alimentos

La aplicación general más grande de refrigeración es la prevención o retraso de los cambios microbianos, fisiológicos y químicos en los alimentos. Incluso a temperaturas cercanas al punto de congelación, los alimentos pueden deteriorarse a través del crecimiento de microorganismos, cambios causados por enzimas o reacciones químicas. Mantener los alimentos a bajas temperaturas simplemente reduce la velocidad a la que se producen estos cambios. Unos pocos organismos de deterioro pueden crecer a temperaturas por debajo de las cuales los alimentos comienzan a congelarse, pero su tasa

de crecimiento se reduce considerablemente por debajo de la temperatura ambiente (ASHRAE, 2014).

La refrigeración también juega un papel importante en el mantenimiento de un suministro de alimentos seguros. En general, el factor principal que causa las enfermedades transmitidas por los alimentos es una temperatura inadecuada para la retención de alimentos. Otro factor importante es el equipo desinfectado incorrectamente. La ingeniería afecta directamente la seguridad y la estabilidad del suministro de alimentos en el diseño de equipos e instalaciones que se pueden limpiar, así como el mantenimiento de las condiciones ambientales que inhiben el crecimiento microbiano. A continuación se trata brevemente la microbiología de los alimentos y el efecto de las decisiones de diseño en la producción de alimentos seguros y saludables. Los métodos para aplicar refrigeración a alimentos específicos se analizan posteriormente (ASHRAE, 2014).

3.7.1 Microbiología básica

Los microorganismos desempeñan varias funciones en una instalación de producción de alimentos. Pueden contribuir al deterioro de los alimentos, produciendo malos olores y sabores, o alterando la textura o apariencia del producto a través de la producción de limo y la formación de pigmentos. Algunos organismos causan enfermedades; otros son beneficiosos y son necesarios para producir alimentos como queso, vino y chucrut a través de la fermentación (ASHRAE, 2014).

Los microorganismos se clasifican en tres categorías: bacterias, levaduras y mohos más virus. Las bacterias son los patógenos transmitidos por los alimentos más comunes. Las tasas de crecimiento bacteriano, en condiciones óptimas, son generalmente mayores que las de las levaduras y los mohos, lo que hace que las bacterias sean una causa principal de deterioro, especialmente en alimentos refrigerados y húmedos. Las bacterias tienen muchas formas, incluidas esferas (cocos), bastones (bacilos) o espirales (espiroquetas), y suelen tener un tamaño de entre 0,3 y 5 a 10 μm . Las bacterias pueden crecer en una amplia gama de ambientes. Algunos, especialmente *Clostridium* y *Bacillus* spp., forman endosporas (es decir, estados de reposo bajo condiciones de temperatura extrema, desecación y resistencia química) (ASHRAE, 2014).

Las levaduras y los mohos se vuelven importantes en situaciones que restringen el crecimiento de bacterias, como en productos ácidos o secos. Las levaduras pueden causar la formación de gases en jugos y la formación de limo en productos fermentados. El moho en superficies húmedas y la formación de moho en alimentos en mal estado también son comunes. Algunos mohos producen toxinas muy poderosas (micotoxinas) que, si se consumen, pueden aumentar el riesgo de cáncer o causar inmunosupresión, y en dosis altas incluso pueden ser fatales.

Los virus son elementos intracelulares obligatorios que son específicos de un huésped individual. Todos los virus, incluidos los virus humanos (por ejemplo,

la hepatitis A), no pueden multiplicarse fuera de las células o tejidos vivos. Las características de diseño deben incluir instalaciones para el buen lavado de manos y prácticas de higiene de los empleados para minimizar el potencial de contaminación del producto. Sin embargo, los virus (fagos) pueden contribuir al fracaso del cultivo de inicio en las fermentaciones bacterianas si no se siguen los procedimientos adecuados de aislamiento, ventilación y saneamiento. El uso de cultivos comerciales concentrados, seleccionados por resistencia a fagos, ha reducido enormemente este problema (ASHRAE, 2014).

3.7.2 Fuentes de microorganismos

Las bacterias, las levaduras y los mohos se distribuyen ampliamente en el agua, el suelo, el aire, las plantas, la piel y el tracto intestinal de los seres humanos y los animales. Prácticamente todos los alimentos no procesados están contaminados con una variedad de bacterias de deterioro y, a veces, microorganismos patógenos porque los alimentos actúan como medios excelentes para la multiplicación de bacterias. Los entornos de procesamiento de alimentos que contienen material residual de alimentos se seleccionan naturalmente para los microorganismos que tienen más probabilidades de estropear el producto en particular (ASHRAE, 2014).

3.7.3 Crecimiento microbiano

Los cambios en las poblaciones microbianas siguen una curva de crecimiento generalizada (Figura 3). Una fase inicial de retraso se produce cuando los

organismos se adaptan a las nuevas condiciones ambientales y comienzan a crecer. La fase de retraso es muy importante porque la extensión máxima de la vida útil y la duración de las ejecuciones de producción están directamente relacionadas con la duración de la fase de retraso. Después de la adaptación, el cultivo entra en la fase de crecimiento máxima (logarítmica), y el control del crecimiento microbiano no es posible sin un saneamiento importante u otras medidas drásticas. Algunos microorganismos pueden duplicarse tan rápido como cada 20 a 30 minutos en condiciones óptimas (ASHRAE, 2014).

La producción de toxinas y la maduración de las esporas, si es posible, suelen ocurrir al final de la fase exponencial cuando el cultivo entra en una fase estacionaria. En este momento, los nutrientes esenciales se agotan y / o los subproductos inhibitorios se acumulan. Con el tiempo, la viabilidad del cultivo disminuye; la tasa depende del organismo, medio y otras características ambientales. Aunque la refrigeración prolonga el tiempo de generación y reduce la actividad de las enzimas y la producción de toxinas, en la mayoría de los casos, no restaurará la calidad o seguridad perdidas del producto.

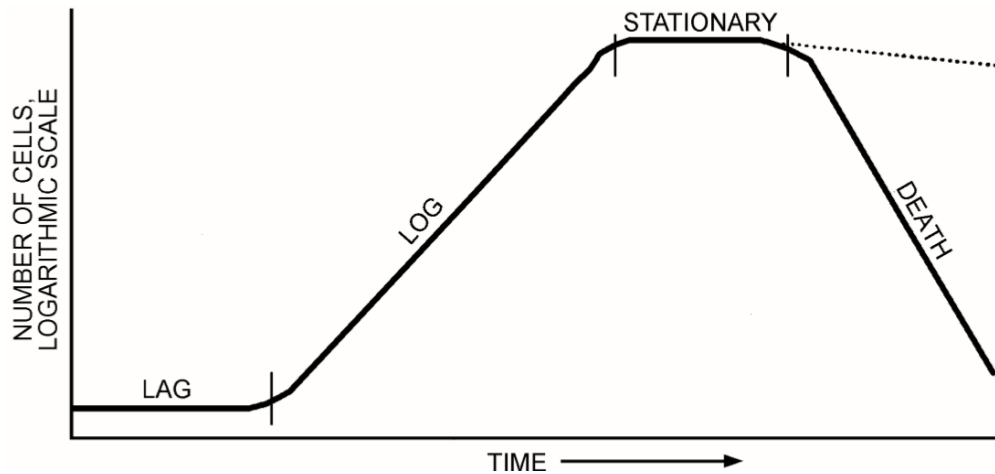


Figura 3. Curva típica de crecimiento microbiano (ASHRAE, 2014).

3.7.4 Requisitos críticos de crecimiento microbiológico

Los factores que influyen en el crecimiento microbiano se pueden dividir en dos categorías: (1) factores intrínsecos que son función del alimento en sí y (2) factores extrínsecos que son una función del entorno en el que se encuentra el alimento (ASHRAE, 2014).

Factores intrínsecos: Los factores intrínsecos que afectan el crecimiento microbiano incluyen nutrientes, inhibidores, características biológicas, actividad del agua, pH y presencia de microorganismos que compiten en un alimento. Aunque las prácticas de ingeniería tienen poco efecto sobre estos parámetros, una comprensión de cómo los factores intrínsecos influyen en el crecimiento es útil para predecir los tipos de microorganismos que pueden estar presentes (ASHRAE, 2014).

De los principales problemas en la poscosecha de arándanos, el desarrollo de pudriciones sin lugar a dudas ocupa un lugar preponderante. De los patógenos que frecuentemente atacan a estos frutos tenemos botritis (*Botrytis cinerea*), antracnosis (*Colletotrichum sp.*) y rhizopus (*Rhizopus sp.*).

Sin embargo, el principal problema fungoso en la poscosecha de arándanos es botritis. Si bien con un buen manejo de temperatura se puede reducir la incidencia de este hongo, no pueden frenar su desarrollo, ya que es capaz de desarrollarse incluso a 0 °C. El uso de alto porcentaje de CO₂ en manejos de atmósfera controlada o atmósfera modificada también son capaces de reducir el nivel de incidencia del patógeno, pero sin duda todas estas estrategias de poscosecha deben ser apoyadas por un buen manejo de la precosecha y cosecha; es así como la aplicación de fungicidas en momentos críticos de infección en precosecha como por ejemplo floración, ayudan a reducir los niveles de incidencia en poscosecha, además se deben evitar las cosechas en días con alta humedad o agua libre.

El desarrollo de otros patógenos como rhizopus durante poscosecha está muchas veces asociado a un deficiente manejo en la temperatura, y a falta de higiene durante los procesos de cosecha y embalaje (Blueberries, 2018).

Nutrientes: Al igual que otros organismos vivos, los microorganismos requieren nutrientes para crecer. El carbono y las fuentes de energía suelen ser los azúcares y los almidones. Los requerimientos de nitrógeno se cumplen

por la presencia de proteínas. Vitaminas y minerales también son necesarios. Las bacterias del ácido láctico tienen requisitos nutricionales bastante exigentes, pero muchos formadores aeróbicos de esporas tienen capacidades enzimáticas tremendas que permiten el crecimiento en una amplia variedad de sustratos. Los sistemas lavables facilitan la eliminación del material residual de alimentos y privan a los microorganismos de los nutrientes necesarios para el crecimiento, evitando así la acumulación de organismos en el ambiente (ASHRAE, 2014).

Inhibidores: De forma natural o añadidos como conservantes, los inhibidores pueden estar presentes en los alimentos. Los conservantes no son sustitutos de las prácticas de higiene y, con el tiempo, los microorganismos pueden desarrollar resistencia. Un sistema de procesamiento que se pueda limpiar sigue siendo esencial para prevenir el desarrollo de una población resistente (ASHRAE, 2014).

La utilización de tecnologías en postcosecha ha sido de gran ayuda para lograr mejores arribos. Para el caso de los arándanos, son tecnologías medianamente nuevas en comparación con las de otras especies. Asimismo, la migración y adecuación de técnicas utilizadas en uva de mesa hoy son parte de los manejos postcosecha de arándanos. Básicamente existen dos técnicas en la utilización de anhídrido sulfuroso (SO_2): generadores de SO_2 y gasificación. La primera se utiliza en el producto terminado mientras que la segunda en la fruta a granel luego de ser cosechada.

La gasificación con SO₂ es altamente efectiva para el control de *Botrytis cinerea* y *Penicillium* sp., tanto en uva de mesa como en arándanos. Ambos patógenos son responsables de defectos graves de condición de la fruta en destino (decay / mold). Sin embargo, el uso incorrecto de esta herramienta puede convertirse en un gran problema.

La forma más común de realizar la gasificación consta en introducir pallets con bandejas de fruta cosechada directas de campo en la cámara de gasificación, donde se inyecta el SO₂ y al entrar la fruta en contacto con el gas, el inóculo es eliminado. La gasificación también ayuda a la esterilización del material de cosecha.

Pero todo esto debe aplicarse en una concentración y tiempo establecido, y no al azar. Se ha determinado que concentraciones entre 100 y 200 ppm son efectivas para lograr la efectividad esperada.

La dosis y tiempo de exposición se define a partir de las dimensiones de la cámara, la capacidad de los ventiladores y el tiempo de evacuación del gas. Mientras más rápido sea el proceso, mejor. Ventiladores robustos para la homogeneidad en la gasificación más una rápida evacuación hacen que esta herramienta sea exitosa, todo siempre bajo constante supervisión (Rozas, 2020).

Microorganismos en competencia: La presencia de un tipo de microorganismo afecta a otros organismos en los alimentos. Algunos organismos producen compuestos inhibidores o crecen más rápidos; otros pueden utilizar mejor los nutrientes disponibles en una matriz de alimentos (ASHRAE, 2014).

Actividad de agua: Todas las formas de vida requieren agua para crecer. La actividad de agua a_w se refiere a la disponibilidad de agua en un sistema alimentario y se define a una temperatura T dada como:

$$a_w = \frac{p}{p_s} |_{T=cte}$$

Donde:

p : presión del vapor parcial del agua generada por el alimento.

p_s : presión de vapor parcial del agua pura a la misma temperatura.

Las actividades de agua mínimas para el crecimiento de una variedad de microorganismos, junto con alimentos representativos, se enumeran en la Tabla 1. Estos mínimos son también factores en el control de la humedad ambiental discutido en la sección sobre factores extrínsecos.

Cuando los alimentos están encerrados en un empaque hermético o en una cámara con circulación de aire limitada, se logra una a_w de equilibrio que es igual a la a_w del alimento. En estas situaciones, la condición del alimento determina qué organismos pueden crecer. Si los mismos alimentos están expuestos para reducir la humedad relativa del ambiente, como restos de

carne que cuelgan en una sala de envejecimiento controlado o las verduras que se muestran en una caja abierta, la deshidratación de la superficie actúa como un inhibidor del crecimiento microbiano. Del mismo modo, si un producto seco, como el pan, se expone a un ambiente húmedo, el moho puede crecer en la superficie a medida que se absorbe la humedad. La humedad relativa ambiental afecta significativamente la vida útil del producto (ASHRAE, 2014).

Entre los problemas que pueden sufrir los arándanos durante la conservación están la pérdida de agua, la aparición de 'leakers' y alteraciones por un mal manejo de la atmósfera controlada. El problema principal son las enfermedades provocadas por los hongos *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer*.

Los arándanos pueden sufrir diversos problemas durante su almacenamiento, tales como alteraciones fisiológicas y enfermedades:

Pérdida de agua: las bayas son muy susceptibles a este problema, que se puede minimizar manteniendo una humedad alta junto con una temperatura óptima.

Leakers: en la literatura inglesa se denomina así a los frutos que se descomponen dejando escapar líquido al exterior. Este problema puede ser debido a descomposiciones fisiológicas.

Las enfermedades son la causa principal de las pérdidas postcosecha de los arándanos. Entre ellas están:

Botrytis cinerea o moho gris: este hongo es un patógeno muy común de las bayas y otros productos, puede crecer hasta 0°C.

Rhizopus stolonifer es otro hongo que ataca las bayas. Detiene su crecimiento a 5°C y produce una especie de algodón blanco que crece sobre el fruto, sobre el que aparecen unos puntos negros del tamaño de la punta de un alfiler que son los cuerpos fructíferos del hongo.

pH. Para la mayoría de los microorganismos, el crecimiento óptimo se produce a pH neutro (7,0). Pocos organismos crecen en condiciones alcalinas, pero algunos, como las levaduras, los mohos y las bacterias del ácido láctico, son tolerantes a los ácidos.

Tabla 1. Actividad de agua mínima aproximada para el crecimiento de microorganismos (ASHRAE, 2014).

Organismo	a_w	Alimentos
<i>Pseudomonas</i>	0,98	Frutas frescas, vegetales, carnes.
<i>Salmonella spp., E. coli</i>	0,95	Alimentos procesados.
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,93	
<i>Bacillus cereus</i>	0,92	Mantequilla salada.
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,86	Salchicha fermentada.
Mohos	0,84	Alimento suave y húmedo para mascotas.
	0,80	Sirope para panqueques, mermelada
	0,70	Jarabe de maíz.
Mohos xerotróficos	0,65	Caramelos.
Levaduras osmofílicas	0,62	
Límite de crecimiento microbiano	0,60	Harina de trigo
	0,40	Leche en polvo sin grasa

3.8 Transpiración del fruto

Las frutas y hortalizas frescas están constituidas fundamentalmente por agua y la transpiración no es sino la evaporación de parte de esta agua, lo que origina su deshidratación o marchitamiento, que puede impedirse reduciendo la intensidad transpiratoria (Muñoz, 1985).

Las frutas y hortalizas transpiran cuando hay una diferencia entre la presión de vapor de la atmósfera interna de los tejidos y la del ambiente donde se encuentra. Mientras se mantenga dicha diferencia, la transpiración continuará; por ello la pérdida de agua es pequeña cuando la humedad relativa es elevada, ya que en este caso la presión de vapor del ambiente se aproxima a la del interior de los frutos, próxima a la saturación (Muñoz, 1985).

La pérdida de agua, que se traduce en pérdida de peso, es más rápida y más importante a temperaturas elevadas que a bajas, incluso cuando la humedad relativa es la misma (Muñoz, 1985).

Con pocas excepciones, la pérdida de masa de agua es máxima mientras que el producto se enfría. Los efectos beneficiosos de una baja temperatura y de una humedad relativa elevada sobre la intensidad transpiratoria pueden completarse facilitando al producto un envase o envoltura de permeabilidad adecuada al vapor de agua. Si la envoltura es impermeable se reduce la pérdida de agua y por lo tanto la de peso, pero si se cierra o ata herméticamente, las concentraciones de oxígeno y de anhídrido carbónico pueden variar en la atmósfera del interior del envase y puede reducirse la

transmisión de calor, con lo que el enfriamiento puede ser más lento. Así mismo, humedades muy próximas a la saturación en el interior de dichos envases favorecen de forma notable el desarrollo de hongos, incluso a bajas temperaturas, con el consiguiente detrimento del producto (Muñoz, 1985).

No todas las frutas y hortalizas pierden agua y peso al mismo ritmo o en el mismo grado cuando se almacenan en las mismas condiciones; cuanto mayor es la superficie expuesta por unidad de volumen, tanto más rápida y mayor es la pérdida; las hortalizas foliáceas pierden, por su estructura y elevado porcentaje de agua en su composición, más agua que las frutas u hortalizas esféricas; el espesor y naturaleza de la capa cerosa que recubre algunas frutas tienen una clara influencia en la intensidad de transpiración.

Pérdidas de agua, del orden 3 al 6 por ciento pueden causar ya, en ciertas frutas y hortalizas, deshidratación, marchitamientos o arrugamientos importantes que traen como consecuencia una pérdida acusada de su calidad comercial, y hay muy pocas especies o variedades que puedan soportar pérdidas del 10 por ciento y todavía ser aptas para el comercio (Muñoz, 1985).

3.9 Respiración del fruto

La maduración comienza con la liberación de etileno por parte del fruto y se caracteriza por la respiración. La respiración es un fenómeno en el cual el fruto libera calor al ambiente, y que está directamente relacionado con los cambios que sufre la fruta. Este hecho es lo que justifica el gasto de energía asociado

a la cadena de frío, pues manteniendo temperaturas bajas (0°C) el metabolismo, incluyendo la respiración disminuye y la fruta se conserva sin deteriorarse en un principio hasta su destino. Es más, mientras más se disminuye la temperatura menor es el riesgo de que esta se deteriore. Sin embargo, es importante considerar que para efectos de exportación de fruta fresca no es posible disminuir la temperatura tanto como se guste, pues se puede producir la congelación de parte o la totalidad del fruto (daño por frío). La congelación de la fruta debe ser evitada porque el agua que se encuentra dentro de esta, aumenta su volumen y destruye las células afectadas, dando una apariencia y consistencia indeseada al fruto (Muñoz, 1985).

3.10 Antecedentes generales del arándano

Antecedentes generales. El arándano o blueberry corresponde a una especie frutal nativa de Norteamérica, perteneciente a la familia Ericáceae, género *Vaccinium* (Figura 4).



Figura 4. Planta y fruto del arándano.

Los antocianos y carotenoides son abundantes en la composición de todas estas frutas del bosque. Desde el punto de vista bioquímico se caracterizan por poseer una elevada actividad antioxidante; neutralizan la acción de los radicales libres que son nocivos para el organismo. Estas propiedades pueden dar lugar a efectos fisiológicos muy diversos; efectos antiinflamatorios y acción antibacteriana de los antocianos, entre otros. Estas frutas contienen, además de los antocianos y carotenoides, otros antioxidantes como la vitamina C. La ingesta dietética de estas sustancias potencia nuestro sistema inmunológico o de defensas del organismo y contribuye a reducir el riesgo de enfermedades degenerativas, cardiovasculares e incluso del cáncer. Asimismo, la vitamina C tiene la capacidad de favorecer la absorción del hierro de los alimentos, por lo que mejora o previene la anemia ferropénica. Existen ciertas situaciones

vitales en las que las necesidades orgánicas de vitamina C están aumentadas, como embarazo, lactancia, tabaquismo, empleo de ciertos medicamentos, estrés y defensas disminuidas, práctica deportiva intensa, cáncer, sida y enfermedades inflamatorias crónicas. En dichas situaciones, el consumo de bayas silvestres ricas en vitamina C está especialmente indicado.

La fibra es un componente muy abundante en estas frutas, por lo que su consumo habitual durante los meses en los que abundan puede resultar un remedio para tratar el estreñimiento y la atonía intestinal.

Los frutos cuando aún están verdes, son ricos en taninos, que les confiere esa sensación de aspereza en el paladar y resultan astringentes y refrescantes, pero una vez alcanzan su completa madurez, los taninos disminuyen y las frutas adquieren propiedades laxantes, tónicas y depurativas.

Particularmente, los arándanos son ideales para combatir infecciones y para mejorar la circulación periférica. El jugo de arándanos de la variedad roja, ejerce una sorprendente acción antiséptica y antibiótica sobre los gérmenes causantes de las infecciones urinarias, especialmente sobre la *Escherichia coli*. En caso de cistitis, se recomienda la toma de un vaso grande lleno de unos 300 mililitros de jugo fresco diario, durante uno a tres meses, como tratamiento y profilaxis.

3.11 Requerimientos de suelo y clima de arándanos

El cultivo de arándano se ve enfrentado a diario a una serie de factores que inciden directamente en la productividad del huerto y, por ende, en su rentabilidad. Algunos de ellos dependientes del manejo agronómico, mientras que otros, tales como las condiciones ambientales, son de difícil control. En estas últimas se basa el fundamento de la mayoría del primero (Morales, 2017).

El terreno es la clave del cultivo de arándanos. Debe ser húmedo, pero bien drenado y, por consiguiente, estar en una región con gran cantidad de precipitaciones lluviosas (Buczacki, 1994).

El sistema radical del arándano está compuesto principalmente por raíces finas y fibrosas que carecen de pelos radicales y que se concentran entre los 50 a 60 cm de profundidad del suelo. Presentan baja capacidad de absorción y no son capaces de atravesar superficies de suelo compactas; por ende, es muy sensible al déficit o al exceso hídrico (INIA, 2013).

La salinidad del suelo es determinante en el éxito del cultivo, por ello es preciso conocer que el pH ideal para un buen desarrollo de los arándanos entre 4,4 y 5,5. Sin embargo, en Chile se han observado buenos desarrollos en pH desde 5,6 a 6,0 (Morales, 2017).

3.12 Requerimientos climáticos del arándano

En cuanto a los requerimientos de temperatura, el arándano soporta bien heladas durante el receso invernal, siendo $-0,6^{\circ}\text{C}$ un valor crítico previo a registros de daños. Una vez terminada la latencia se torna sensible a las bajas temperaturas, sobre todo en floración. Por tanto, se recomienda considerar los datos históricos de heladas en la zona donde se inicia el cultivo, y la cantidad de horas frío, cuyo rango va desde 400 a 1.200 horas frío con un umbral de 7°C , para realizar una correcta elección de la variedad (Figura 7) (Morales, 2017). La temperatura óptima de crecimiento de raíces es en el rango de $18-22^{\circ}\text{C}$, de brotes, hojas, frutos entre $20-26^{\circ}\text{C}$ y de desarrollo del fruto ideal entre $20-28^{\circ}\text{C}$ (Morales, 2017).

REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS

● Exigencias en la acumulación de horas-frío.

Alto requerimiento de frío, "High Chilling" 1,000 o más Horas de Frío	Mediano requerimiento de frío "Mid Chilling" 600-1,000 Horas Frío	Bajo requerimiento de frío, "Low Chilling" 250-600 Horas Frío	Sin requerimiento de frío, "No Chilling" <250 Horas Frío
<p>Variedades de Arándano Tradicional Conocidos como Grupo; Northern Highbush Hoja caduca. Periodo de Reposo profundo. Responden a las estaciones del año. Principalmente en Canadá, EE.UU, Europa. En menor grado Chile,</p>	<p>Variedades caducas con poca persistencia hojas. Presentan período de reposo. Northern Highbush Responden a las estaciones del año. Principalmente en EE.UU (North Caroline, North California), Argentina, Chile</p>	<p>Variedades de hoja persistente. Periodo de reposo escaso. Estacionalidad menos marcada. Pricipalmente en; EE.UU (California, Florida), España, Argentina, Centro-Norte Chile, Sud África, Nueva Zelandia y Australia.</p>	<p>Variedades de cero frío". Persistencia de la hoja- Perennifolia. No presentan estacionalidad. Perú, Colombia, Ecuador Centro-Sur México,</p>

Activar Wir
Ve a Configuración

Figura 5. Exigencias en la acumulación de horas-frío de arándanos (Parodi, 2017).

3.13 Cosecha de arándanos

El productor realiza la cosecha y el empaque del arándano, para posteriormente despacharlo a los centros de acopio de las exportadoras. Los tipos de productores son muy heterogéneos debido a que cada uno cuenta con realidades económicas distintas, por lo tanto, las maneras de cosechar y empacar la fruta pueden variar (Barichivich, 2010).

La cosecha de arándanos se realiza muy temprano en la mañana, a eso de las 6 AM, y rara vez se extiende más allá de las 2 PM en forma manual, ya sea, en pote o en bandejas (Barichivich, 2010) (Figura 6).



Figura 6. Tipos de cosecha de arándanos.

Cosecha en pote: Se realiza una selección intensa en el arbusto, depositando directamente la fruta en un pote, que corresponde al envase que recibe el consumidor final. Es un sistema que requiere personal con experiencia o bien entrenado, es decir que conozcan las características que debe tener el fruto

para ser cosechado y así realizar una adecuada selección en campo (Barichivich, 2010).

Cosecha en bandeja: Se realiza una selección rápida en el arbusto, depositando la fruta en bandejas cosecheras, para después realizar una selección intensa en la planta de empaque y así colocar la mejor fruta en los potes de exportación. Presenta mayor productividad por jornada y un menor costo ya que requiere menor mano de obra. La desventaja es que existe una mayor manipulación de la fruta, disminuyendo la calidad (Barichivich, 2010).

Descarte: La fruta para descarte es aquella que presenta características que no cumplen con las condiciones de mercado y que disminuyen la vida de postcosecha del producto, es decir, fruta sobremadura (blanda), con heridas por raspado, picadas, sin cera, muy chica, etc.

No debe quedar fruta con estas características en la planta, por lo tanto, tiene que ser colocada en un envase de descarte, para ser destinada al mercado interno, ya sea a vendedores callejeros o a la agroindustria. Esta última utiliza la fruta para congelado, jugo, deshidratado, etc. En cuanto a la fruta que cae al suelo, es desechada totalmente. De hecho, no se considera ni siquiera para el mercado interno (Barichivich, 2010).

La calidad del fruto está definida por una serie de factores que podemos agrupar en calidad visible, calidad organoléptica y calidad nutritiva. La calidad

visible se refiere a la apariencia de la fruta, la cual en arándanos se define como:

- Un fruto de color azul uniforme.
- Presencia de cera en la superficie de la fruta (conocida como bloom), que el consumidor relaciona a una fruta fresca.
- Ausencia de defectos como daño mecánico y pudriciones.
- Forma y tamaño de la fruta.
- Fruta con firmeza adecuada.

La calidad organoléptica está determinada por un contenido adecuado de azúcares, ácidos y compuestos volátiles responsables del aroma característico de la fruta (INIA, 2010).

El momento de cosecha, influye en los parámetros de calidad de esta fruta, por lo que su planificación es importante para conservar la misma. Cambios en sabor y textura pueden tener efectos importantes en la aceptación de los consumidores (Bello et al., 2012).

Si bien estos términos son parte importante del concepto de calidad, se ignoran los valores nutricionales y organolépticos, siendo estos últimos los que influyen mayormente en la selección del producto por parte del consumidor y determinan de modo importante el consumo de frutos y otros alimentos. Según Yommi y Godoy (2002), a 4 y 5°C tienen una tasa respiratoria considerada baja a moderada, pero la misma se eleva considerablemente a temperatura

ambiente. Cuanto mayor es la tasa respiratoria, más rápido se producen los cambios involucrados en la maduración y en la pérdida de la calidad (Figueroa et al., 2010).

Los arándanos son frutos muy perecederos, debido principalmente a una tasa respiratoria elevada. En general se considera que el arándano es climatérico, denominando de este modo a aquellos frutos que presentan un marcado aumento en la actividad respiratoria, el cual se produce con posterioridad a la cosecha si son recolectados con madurez fisiológica (Figueroa et al., 2010).

Durante el proceso de maduración de las frutas, el cambio cuantitativo más importante es la casi total conversión del almidón en azúcares, ya que a lo largo de este proceso se altera tanto el gusto como la textura de la fruta. Los sólidos solubles están constituidos principalmente por azúcares como glucosa y fructosa y en menor grado por ácidos orgánicos y sustancias pécticas. En arándano, glucosa y fructosa son los principales azúcares, encontrándose pequeñas cantidades de sacarosa (Figueroa et al., 2010).

Los sólidos solubles indican el porcentaje de azúcar contenido en la fruta. Para cosechar frutas de arándano, éstos deben presentar niveles de sólidos solubles en rango de 12 a 14°Brix. Al respecto, Galleta e Himelrick (1989) postulan que los frutos maduros pueden alcanzar valores de 15°Brix. En este sentido, Kushman y Ballinger (1968) proponen como criterio de cosecha, niveles superiores a 10°Brix, en tanto que Lobos (1988) indica que frutos de

arándano con 11 y 12°Brix reúnen las cualidades organolépticas deseadas (Figueroa et al., 2010).

La mayoría de los azúcares son procesados en las hojas y luego transportados hacia el fruto; por ello, aquellos frutos madurados fuera del arbusto sólo alcanzan un contenido final de 10% de azúcar (Figueroa et al., 2010).

La deshidratación del arándano en poscosecha genera pérdida de peso, flacidez y ablandamiento, lo que afecta directamente el valor comercial de este fruto. Una pérdida de peso de 3 a 5% del peso inicial origina arrugamiento en la fruta (Fundación Chile, 1989), bastando un 5% de pérdida de peso por deshidratación para obtener arándanos con poca apariencia atractiva (Figueroa et al., 2010).

Para evitar las pérdidas por deterioro de la fruta en poscosecha, es indispensable la aplicación de pre-frío rápido a la fruta después de cosechada. Por otra parte, Guerrero (1993) indica que el arándano se conserva en buenas condiciones durante 15 a 33 días de almacenaje, en cámaras de frío a 0 °C y con 90% de HR, dependiendo del cultivar y estado de madurez (Figueroa et al., 2010).

3.14 Manejo de temperatura y humedad relativa en poscosecha de arándanos

Uno de los puntos más críticos para la prolongación de la vida de poscosecha de arándanos es la temperatura, la cual debe ser manejada desde el huerto al

momento de la cosecha mediante el uso de sombreaderos o el desplazamiento rápido a los lugares de embalaje (packing), donde existe un control de temperatura. Si las condiciones de cosecha no permiten un traslado rápido y frecuente de los frutos al packing, se recomienda cubrir las bandejas con materiales que permitan reflejar el sol, evitando el aumento de temperatura de la fruta (Morales, 2017).

La temperatura tiene una relación directa con el metabolismo de la fruta y con la vida en postcosecha. Durante la cosecha los frutos se encuentran en general bajo condiciones de alta temperatura ambiente, lo que hace que se encuentran respirando a una alta tasa. En el proceso de respiración se consume oxígeno (O_2) y se produce dióxido de carbono (CO_2) para poder producir energía necesaria para mantener la vida; sin embargo, como subproductos existe calor de respiración y agua liberados al medio. La respiración y, sobre todo aumentos en su tasa, pueden afectar la calidad de la fruta. Por ejemplo, producto del calor de respiración que aumenta la temperatura se produce pérdida de agua en el proceso y además es posible observar en muchos casos una baja de la acidez, porque los ácidos son usados como sustratos preferenciales para el proceso de respiración (Morales, 2017).

Después de la cosecha y llegada al packing, son necesarios sistemas eficientes para lograr una rápida remoción del calor de campo previo al

almacenamiento y llegar a una temperatura de entre 0 y 1 °C, que es la recomendada para su almacenamiento y transporte (Morales, 2017).

3.15 Pre-frío en arándanos

El frío es una de las técnicas más ampliamente utilizada en el mundo para minimizar el deterioro postcosecha de frutas y hortalizas frescas, reduciendo además su deshidratación y desarrollo de enfermedades. Cuando el destino de los arándanos es para consumo en fresco, es necesario reducir rápidamente la temperatura de los frutos mediante el preenfriado, hasta alcanzar valores próximos al aconsejado para la conservación, con el fin de evitar pérdidas de la calidad. Debe efectuarse en las primeras 4 horas desde la cosecha.

Los pallets que presenten una temperatura de recepción mayor a 5°C, se trasladan a un túnel de aire forzado que bajará la temperatura. El túnel de pre-frío consiste en construir en el recinto refrigerado dos líneas de pallets, dejando en el centro un pasillo que tendrá en un extremo un ventilador. Los pallets se cubren con una carpa, para formar el túnel, donde el ventilador a modo de succión forzará el aire frío a pasar a través del producto empacado (Barichivich, 2010).

El proceso de pre-frío termina una vez que se registra una temperatura de pulpa de fruta de 0°C. Este proceso puede ser realizado antes que se entregue la fruta al centro de acopio, lo cual es efectivo en plantas de empaque de

productores que tienen sistemas de frío. Después de embalar su fruta estos la pre-enfrían y la almacenan rápidamente con el objetivo de aumentar la vida de postcosecha del producto. De esta manera la fruta llega al frigorífico del exportador a una baja temperatura, pasando directamente a la cámara de almacenaje (Barichivich, 2010).

Los pallets pre-enfriados y los que presentan una temperatura de recepción entre 0°C y 5°C pasan directamente a la cámara de almacenaje, que tiene las condiciones de conservación. Es decir, una temperatura ambiental de 0°C y una humedad relativa entre 90% y 95% (Barichivich, 2010).

Los pallets son dispuestos en frente de los equipos de ventilación de la cámara, debido a que las aberturas de las bandejas deben quedar en la misma trayectoria del aire de los ventiladores, para que la mercadería se mantenga en la temperatura de conservación (Barichivich, 2010).

Se realizan tres controles diarios de humedad relativa y de temperatura del recinto. Junto a estos se efectúan tres controles diarios de la pulpa de la fruta. El propósito de los controles es verificar que no existan temperaturas que produzcan un crecimiento de microorganismos y variaciones que permitan la condensación (Barichivich, 2010).

3.16 Aplicación de atmósferas modificadas o controladas en arándanos

Las atmósferas controladas o modificadas contienen niveles más bajos de O₂ y mayores de CO₂ que el aire. Mediante el uso de estas tecnologías se

consigue reducir la respiración de la fruta, retrasando por tanto la maduración. Cuando la modificación de las atmósferas se realiza manteniendo un control más o menos exacto de la concentración gaseosa dentro de cierto rango, recibe el nombre de atmósfera controlada. Si por el contrario se utiliza una mezcla de gases resultante del intercambio gaseoso del envase en equilibrio con la respiración del producto, la técnica se denomina atmósfera modificada. Ésta se consigue realizando vacío y reinyectando posteriormente la mezcla adecuada de gases, de tal manera que la atmósfera que se consigue en el envase va variando con el paso del tiempo en función de las necesidades y repuesta del producto. Los arándanos pueden conservarse, manteniendo una adecuada refrigeración y en atmósferas controladas del 10-12% CO₂ y aproximadamente 10% O₂, por un periodo de 6 a 9 semanas, dependiendo del cultivar y del estado de madurez inicial del fruto. Uno de los inconvenientes que presenta el uso de esta tecnología es su alto costo. No obstante, la aplicación de atmósfera controlada se hace indispensable cuando se requiere almacenar la fruta por periodos superiores a 3 semanas. El empleo de atmósferas modificadas en la conservación de los frutos se ha incrementado en los últimos años en los países desarrollados. Una de las razones es que esta tecnología puede aplicarse a diversos tamaños de envase, desde pallets completos hasta pequeños formatos individuales.

3.17 Embalaje de arándanos

El proceso de embalaje, almacenamiento y transporte de arándanos debe ser supervisado por un oficial del SAG (SAG, 2011).

Durante el proceso de embalaje, se debe limpiar y clasificar los arándanos para evitar la presencia de insectos, ácaros, frutas podridas, ramas, hojas, raíces y tierra en los frutos (SAG, 2011).

El material de embalaje debe ser limpio, higiénico, sin uso y cumplir con los requisitos fitosanitarios del país de destino. Si las cajas de embalaje tienen ventilación, se deben utilizar una malla o bolsas perforadas (el diámetro máximo de orificio es de 1,6 mm) para cubrir la ventilación en cada caja o para cubrir el pallet completo (SAG, 2011).

Los arándanos embalados serán almacenados de inmediato en una cámara, separados de otros, para evitar la infestación secundaria de plagas (SAG, 2011).

Cada caja debe etiquetar el nombre de la fruta, el lugar de producción (región y comuna), país exportador, nombre o código del huerto, nombre o código del packing, etc. (SAG, 2011).

Los contenedores donde se cargue la fruta a ser exportada, deben tener un certificado sanitario, y al momento de la carga del contenedor, se debe verificar su limpieza. Esta actividad debe ser registrada para la verificación del SAG (SAG, 2011).

El contenedor debe ser un contenedor de tránsito de auto-enfriamiento (enfriamiento general), y contar con equipos de enfriamiento que puedan alcanzar y mantener la temperatura necesaria (SAG, 2011).

Los oficiales del SAG deben asegurar que la combinación de las sondas de temperatura y los registradores de temperatura sea de la siguiente forma:

- La precisión de la sonda de temperatura debe encontrarse en un rango de $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$, indicando entre $-3,0^{\circ}\text{C}$ y $+3,0^{\circ}\text{C}$.
- Tener suficientes sondas capaces de registrar y almacenar los datos del proceso de tratamiento.
- Se deben registrar las temperaturas de todas las sondas al menos una vez por hora, y los registros deben cumplir con la exactitud exigida de las sondas.
- Los registros impresos de temperatura, deben coincidir con la hora y la temperatura registrada de cada sonda, y deben identificar los códigos de registradores y de contenedores.
- Las frutas empacadas deben ser cargadas en el contenedor de tránsito bajo la supervisión de los oficiales SAG, y de tal forma que se asegure un flujo uniforme de aire por debajo y alrededor de los pallets y cajas. Se deben colocar al menos tres sondas de temperatura de frutas y dos sondas de temperatura ambiente dentro de cada contenedor (SAG, 2011).

3.18 Criterios generales: Cálculo de necesidades frigoríficas

3.18.1 Requerimiento total de refrigeración

Según Nicolás Seitz (2008), para mantener fría una cámara y todo lo que está contenida en ella, es necesario extraer el calor inicial y después el que pueda ir entrando en la cámara, por bien aislada que esté.

El requerimiento total de refrigeración, Q_{total} , puede establecerse como sigue:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{productos} + \dot{Q}_{otras\ fuentes}$$

Para estos términos pueden emplearse como unidades las kcal/h, W o kW.

En la anterior expresión, los términos del segundo miembro tienen el siguiente significado:

$\dot{Q}_{productos}$ representa los sumandos necesarios que tienen en consideración la carga térmica a eliminar procedente del calor sensible, del calor latente de solidificación, de las reacciones químicas, del embalaje y del calor absorbido para la congelación del agua de los alimentos o productos que se desea refrigerar.

$\dot{Q}_{otras\ fuentes}$ incluye entre otros los flujos de calor a través de los cerramientos de la cámara por transmisión de paredes, suelo y techo, la refrigeración del aire exterior que se introduce, la ventilación, las cargas térmicas debidas a ventiladores, bombas, iluminación eléctrica, personas que manipulan los productos, etc.

Como el calor generado en las 24 horas de un día se ha de extraer en un número de horas menor en las t horas de funcionamiento diario, la potencia frigorífica de la maquinaria N_R habrá de ser superior a la potencia Q_{total} calculada para extraer en las 24 horas. Su valor será:

$$N_R = \dot{Q}_{total} \frac{24}{t}$$

3.18.2 Cálculo del calor generado por la respiración del producto

Para optimizar las dimensiones y características técnicas de un evaporador y de una instalación frigorífica en general es necesario considerar variados factores como es uno de ellos, la respiración del producto (Seitz, 2008).

Los arándanos presentan un comportamiento respiratorio climatérico, caracterizado por un alza respiratoria y de etileno durante la madurez. Sin embargo, a diferencia de otros frutos climatéricos, como la manzana, los arándanos deben cosecharse cercanos a la madurez de consumo ya que los atributos organolépticos (sabor) no mejoran después de cosecha. Para el cálculo de calor generado por la respiración del producto, se tiene:

$$\dot{Q}_{resp} = m * \Delta H_{resp} |_{T_{ln}}$$

$$T_{ln} = \frac{T_a - T_b}{\ln \frac{T_a}{T_b}}$$

Donde:

m = Masa del producto (kg).

ΔH = Energía generada por un material que respira (kJ/kg) la cual se obtuvo de la Tabla 2, página 30.4, capítulo 30, ASHRAE Fundamentals Handbook.

T_a = Temperatura alta (de campo, a la cual entra el producto) (°C) la cual se obtuvo de información de terreno.

T_b = Temperatura baja (a la cual se quiere llegar) (°C).

T_{ln} = Temperatura media logarítmica, temperatura representativa del proceso de enfriamiento (°C).

3.18.3 Calor generado por el producto

La carga térmica a retirar durante la refrigeración y almacenamiento del arándano cuando este se enfría desde temperatura T_a hasta la T_b final en tiempo determinado se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{prod} = \frac{m * c_p * (T_a - T_b)}{t}$$

Donde:

\dot{Q}_{prod} = Calor generado por el producto (W).

m = Masa del producto (kg).

C_p = Calor específico del producto (kJ/kg °C) el cual se obtuvo de la Tabla 1, página 30.2, capítulo 30, ASHRAE Fundamentals Handbook.

T_a = Temperatura alta (°C).

T_b = Temperatura baja (°C).

t = Tiempo de enfriamiento (s).

3.18.4 Calor de los envases de plástico

Para el traslado desde el huerto hacia la planta y enfriamiento del arándano como materia prima se utilizaron bandejas verdes con perforaciones que es capaz de albergar hasta 2,5 kg de fruta. Para el arándano como producto terminado, este no se encuentra a granel dentro de las cajas, salvo una que es la con destino a Europa que lleva una bolsa de atmósfera de 2-4 kg. Los otros productos terminados van en cajas de cartón con aperturas en sus costados y parte inferior, sus respectivos clamshell y láminas plásticas. Para obtener el calor generado por cada uno de estos elementos se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{env} = \frac{m_{env} * c_{p_{env}} * (T_a - T_b)}{t}$$

Donde:

\dot{Q}_{env} = Calor generado por el envase (W).

m = Masa del total de envases (kg).

C_p = Calor específico del plástico (kJ/kg °C) valor que se obtuvo de la Tabla 8, página 30.13, capítulo 30, ASHRAE Fundamental Handbook.

T_a = Temperatura alta (°C).

T_b = Temperatura baja (°C).

C_p = Calor específico del plástico de 1,880 (kJ/kg °C) (corcho tablero para cajas de producto terminado).

t = Tiempo de enfriamiento (s).

3.18.5 Calor de los pallets

Existen pallet yugo y pallet taco. El destino define qué tipo de pallet va con cada una de las cajas de producto terminado. Para los arándanos de pre-frío de entrada se utilizan generalmente pallet taco que es el más común. Para conocer el calor que se generó por los pallets dentro de los pre-frío, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\dot{Q}_{pallet} = \frac{m_{pallet} * c_{pallet} * (T_a - T_b)}{t}$$

Donde:

\dot{Q}_{pallet} = Calor generado por pallets (W).

m = Masa del total de pallets (plataforma de madera) (kg).

C_p = Calor específico de la madera de 2,805 (kJ/kg °C) que se obtuvo del libro “Información Tecnológica”, volumen 12, número 1, año 2001.

T_a = Temperatura alta (°C).

T_b = Temperatura baja (°C).

t = Tiempo de enfriamiento (s).

3.18.6 Calor de cargas misceláneas (pared, piso y techo)

Las paredes del pre-frío de materia prima y producto terminado están fabricados con Panel Frigo 40mm Poliuretano (empresa Prize). La temperatura por radiación solar tiene un efecto sobre las paredes, este dependerá de la orientación y del color del panel. Los muros claros reflejan mejor la radiación que los muros oscuros. En el caso de cerramientos en la sombra, el valor del suplemento es nulo.

La tasa de calor que entra en la cámara por transmisión de calor a través de las paredes, techo y piso viene dada por la expresión:

$$\dot{Q}_{pp} = U * A * (T_{amb} - T_{int})$$

Donde:

\dot{Q}_{pp} = Calor generado por cargas misceláneas (W).

U = Coeficiente global de transferencia de calor (W/m²°C).

h_i = Coeficiente convectivo (W/m²°C).

$h_o=h_i= 9,37$ [W/m²°C] para aire quieto y $h_o=34,1$ [W/m²°C] para una velocidad del aire de 6,1 [m/s], datos obtenidos de capítulo 26.1 de 1994, ASHRAE Fundamentals Handbook.

A = Área de pared, piso o techo (m²).

x_j = Espesor de la pared j (m).

k_j = Coeficiente conductivo de la pared j (W/m°C).

T_{amb} = Temperatura ambiental externa (°C).

T_{int} = Temperatura del interior de la cámara (°C).

t = Tiempo de enfriamiento (s).

Para determinar el coeficiente global de transmisión de calor, U, se emplea la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{h_i}} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \dots + \frac{1}{h_i}}$$

Siendo h_e y h_i los coeficientes de convección exterior e interior [W/m²°C]; e_1, e_2, \dots los espesores de los diferentes elementos que constituyen la pared o el techo (m), y $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ las conductividades térmicas de estos elementos (W/m°C). K_1, K_2, \dots son los coeficientes de transmisión calorífica de los distintos materiales (W/m°C).

El coeficiente $1/h_e$, denominado resistencia superficial, presenta un valor variable en función del sentido del flujo, pero puede utilizar un valor aproximado de $0,11 \text{ (m}^2\text{C) /W}$.

En cada cerramiento se calcula la carga de calor entrante. Sumando las cargas de cada cerramiento, se obtiene la carga total de calor por transmisión en la cámara.

Tabla 2. Suplementos de temperaturas por radiación solar (en °C).

	<i>Este</i>	<i>Sur</i>	<i>Oeste</i>	<i>Techo</i>
<i>Colores claros</i>	2,2	1,0	2,2	5,0
<i>Colores medios</i>	3,3	2,2	3,3	8,3
<i>Colores oscuros</i>	4,4	2,8	4,4	11,0

3.18.7 Calor por cambios de aire

Según Seitz (2008) siempre es necesario proceder en mayor o menor medida a una aireación de la cámara fría. En ocasiones esta ventilación se produce por la frecuencia de apertura de las puertas para la entrada y salida de género. La fórmula para calcular el calor generado por los cambios de aire ocurridos dentro de la cámara es la siguiente:

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = V * N^{\circ} \text{cambios de aire} * \rho_{\text{aire}} * c_{p_{\text{aire}}} (T_{\text{amb}} - T_{\text{int}})$$

Donde:

\dot{Q}_{aire} = Calor generado por cambios de aire (W).

V = Volumen de la cámara de pre-frío (m³).

N^o cambios de aire= Número de cambios de aire, de acuerdo al volumen de la cámara.

p_{aire}= Densidad del aire [kg/m³].

C_p aire= Calor específico del aire [kJ/kg*°C].

T_{amb}= Temperatura ambiental (°C).

T_{int}= Temperatura del interior de la cámara (°C).

3.18.8 Calor liberado por los motores

En el interior de una cámara frigorífica existen aportaciones de calor debidas al funcionamiento de los ventiladores del evaporador. Asimismo, cualquier máquina que realice un trabajo dentro de una cámara frigorífica, por ejemplo, las carretillas elevadoras, desprenderá calor. La siguiente expresión permite calcular el calor liberado por los motores:

$$\dot{Q}_{motor} = N^{\circ}_{motor} * Pot_{motor} * q_{equiv}$$

Donde:

\dot{Q}_{motor} = Calor generado por motores (HP).

N°_{motor} = Número de motores.

Pot_{motor} = Potencia del motor [HP], 15HP.

q_{equiv} = calor equivalente de motores eléctricos, dependiente de la potencia del motor.

Los ventiladores solo se utilizan durante el funcionamiento de la máquina frigorífica y, generalmente, no funcionan en los periodos destinados al desescarche de los ventiladores.

3.18.9 Calor liberado por las personas

También las personas que entran en una cámara liberan calor a razón de:

$$\dot{Q}_{per} = N^{\circ}_{personas} * q_{personas}$$

Donde:

\dot{Q}_{per} = Calor generado por personas (W).

$N^{\circ}_{personas}$ = Número de personas que laboran.

$q_{personas}$ = calor equivalente de personas, para la temperatura de almacenaje (W).

El tiempo de permanencia variará según el trabajo que deban efectuar las personas en el interior de la cámara. Generalmente se evalúa entre 0,5 h/día y 5 h/día, pero conviene una información precisa sobre este extremo, que se obtendrá de la consideración de su utilización en cada caso.

Tabla 3. Potencia calorífica aportada por las personas, se obtiene de tabla N°5 de 1994 ASHRAE Fundamentals Handbook, página 23.6

<i>Temperatura de cámara (°C)</i>	<i>Potencia liberada por persona (W)</i>
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

3.18.10 Calor liberado por la iluminación interior

Las lámparas existentes en el interior de la cámara liberan un calor equivalente

a:

$$\dot{Q}_{luc\acute{e}s} = N^{\circ}_{luc\acute{e}s} * P_{luc\acute{e}s}$$

Donde:

$\dot{Q}_{luc\acute{e}s}$ = Calor generado por las luces (W).

$N^{\circ}_{luc\acute{e}s}$ = Número de luces.

$P_{luc\acute{e}s}$ = Potencia de ampollitas (W).

Si las lámparas son del tipo fluorescentes se multiplica la potencia total de todas las lámparas por el factor 1,25 para considerar el consumo complementario de la reactancia. Si no se conoce la potencia de las lámparas puede estimarse un valor comprendido entre 5 y 15W/m² de planta de cámara.

3.18.11 Calor total que ingresa, sumando los calores involucrados

$$\sum \dot{Q} = \dot{Q}_p + \dot{Q}_{resp} + \dot{Q}_{env} + \dot{Q}_{pallets} + \dot{Q}_{pp} + \dot{Q}_{aire} + \dot{Q}_{motor} + \dot{Q}_{pers} + \dot{Q}_{luces}$$

Considerando un 10% de seguridad, al calor que ingresa:

$$\sum \dot{Q}_{total} = \sum \dot{Q} * 1,1 = Q_{in}$$

3.18.12 Cálculo de la potencia del compresor

- Capacidad de refrigeración:

$$Capacidad\ refrigeración = H_b - H_a$$

- Flujo de refrigerante:

$$\dot{V}_{refrigerante} = \frac{\dot{Q}_{total}}{H_b - H_a}$$

- Calor producido por el compresor:

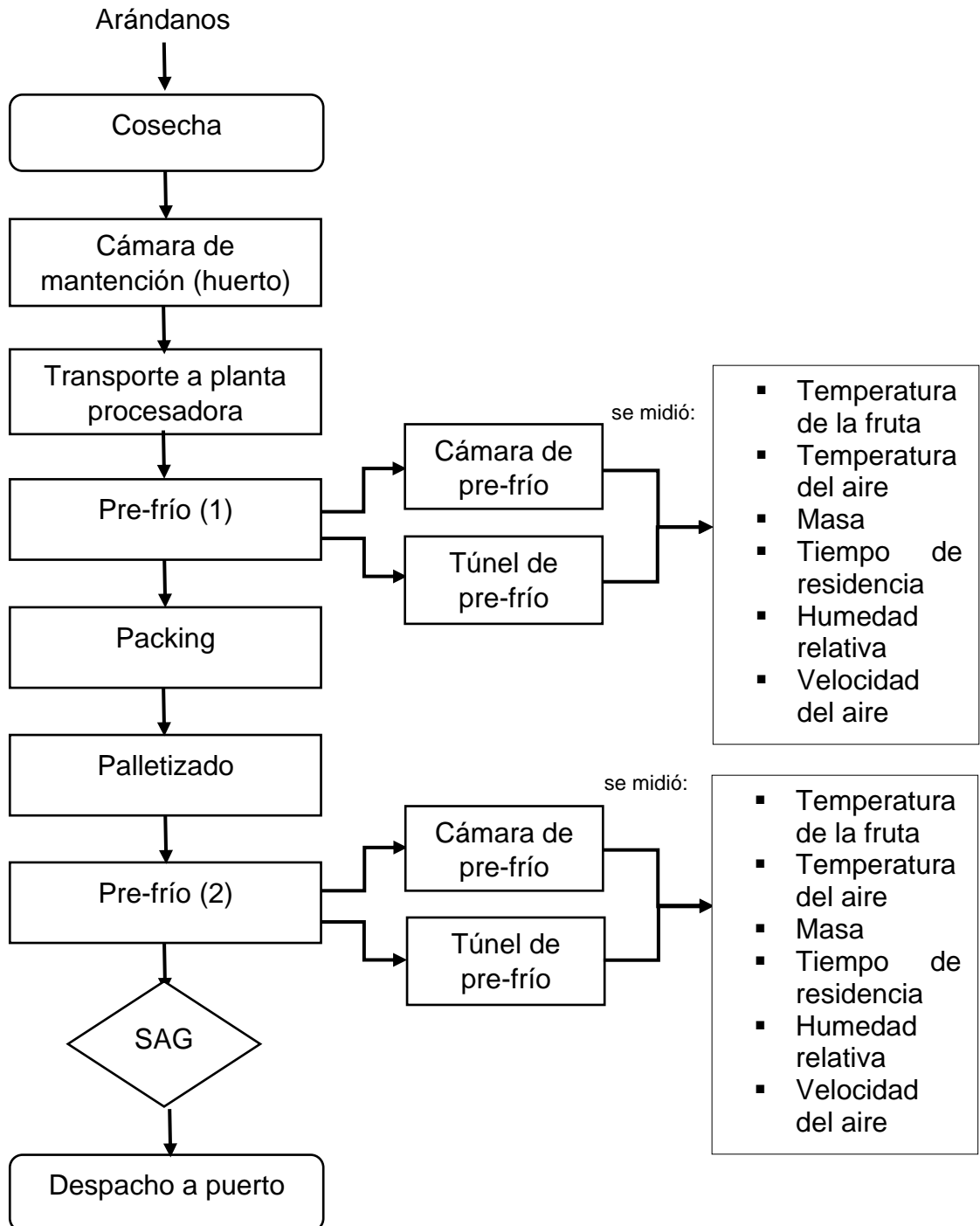
$$\dot{Q}_{compresor} = \dot{m}_{ref} * (H_c - H_b)$$

- Cálculo de la potencia del motor:

$$HP = \frac{\dot{Q}_{compresor}}{fc * \eta}$$

3.19 Diagrama de flujo de arándanos

El procesamiento de arándanos se puede resumir a través del siguiente esquema:



MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Obtención de datos

Los ensayos se realizaron con los datos estadísticos de los túneles de pre-frío de la empresa Prize Proservice S.A., Chillán Viejo (9Q63+G3 Los Colihues, Chillán Viejo). Para la determinación de los parámetros físicos de la fruta y empaque se utilizaron arándanos de la temporada de cosecha 2019.

Los datos obtenidos de la estación meteorológica de la Universidad de Concepción, Campus Chillán, indican que para los últimos 10 años para las cosechas de arándanos tempraneros y tardíos las temporadas abarcan desde el mes de noviembre (segunda quincena) hasta mediados del mes de abril entre los años 2010 al 2019, las máximas y mínimas temperaturas en dicho periodo son $-1,74^{\circ}\text{C}$ y $38,63^{\circ}\text{C}$ correspondiente al año 2019, seguida de $36,76^{\circ}\text{C}$ del 2014 y por último $36,26^{\circ}\text{C}$ del año 2012.

Las condiciones máximas o más rigurosas para el mes de febrero 2018 con temperatura de $38,63^{\circ}\text{C}$ serán usadas para los cálculos posteriores. Las temperaturas mínimas indicadas para el mismo periodo son $-1,74^{\circ}\text{C}$ y ocurren en el mes de marzo del año 2013.

4.1.1 Información acerca de los túneles

Se registraron las dimensiones de los seis túneles de pre-frío existentes de la empresa Prize Proservice S.A., planta Chillán.

4.1.2 Información acerca de los envases y embalajes

Se consideraron los siguientes tipos de clamshell de acuerdo al tipo de mercado de destino:

Tabla 4. Tipos de clamshell dependiendo del destino (Información personalizada de personal Prize).

Tipo de Clamshell	Capacidad	Holgura	Destino
Sweet Fruit	125 gramos	7-10 gramos	China
Sweet Blue	510 gramos	7-10 gramos	Estados Unidos
Calgiant	311 gramos	7-10 gramos	Estados Unidos

Se consideraron los siguientes tipos de cajas y pallets de acuerdo al tipo de mercado de destino:

Tabla 5. Tipos de cajas y pallets dependiendo del destino (Información personalizada de personal Prize).

Tipo de caja	Tipo de pallets	Destino
4.4oz Sweet Fruit	Pallet taco	China
1 pinta Sweet Blue	Pallet taco	Estados Unidos
1 pinta Calgiant	Pallet Yugo	Estados Unidos
½ pinta 6oz Sweet Blue granel	Pallet taco	Europa

Se registraron datos como: masa del producto, temperatura del producto, dimensiones y tipo de material del clamshell, bolsas, cajas, bandejas verdes, número de personal capacitado para realizar la labor dentro del pre-frío, cantidad de focos de luz en el interior del túnel, material de las paredes y piso, cambios de aire en la cámara, capacidad del evaporador. Se realizaron ensayos para un túnel cargado con diez pallets de materia prima de arándanos con bandejas verdes y con veinte pallets de producto terminado, ambos en operación normal.

4.2 Determinación de carga de enfriamiento

4.2.1 Carga de enfriamiento para cámara de pre-frío de ingreso

Se calcularon las cargas de calor para el proceso de enfriamiento de materia prima, en un túnel con capacidad de diez pallets. Las cargas de calor generadas que se calcularon fueron: respiración del arándano, calor generado por el producto, envases plásticos, pallets, cargas misceláneas, cambios de aire, motores, personas y luces. Además, se calculó el calor total ingresado al túnel y la potencia del compresor.

4.2.2 Carga de enfriamiento para cámara de pre-frío de embarque

En el túnel de producto terminado se calcularon las cargas de calor para la respiración del arándano, para el calor generado por el producto, envases plásticos, pallets, cargas misceláneas, cambios de aire, motores, personas y luces. Además, se calculó el calor total ingresado al túnel y la potencia del

compresor, trabajando con el diagrama de presión de entalpía del amoníaco con la metodología propuesta por ASHRAE Handbook-Refrigeration (ASHRAE, 2014), con temperaturas y humedad relativas de operación y base de datos meteorológicos de la región.

5. RESULTADOS

5.1 Calor generado por la respiración del producto en materia prima

Se trabajó con 600 kg de arándanos, equivalente a un pallet, en bandejas verdes, cuya temperatura de cosecha fue de 38,63°C, temperatura máxima de la temporada 2018 (02 febrero 2018) y se llevó a 5°C. El túnel de materia prima tiene una capacidad de diez pallets, por lo cual, los cálculos se realizaron con esta cantidad.

Tabla 6. Calor generado por respiración del producto en materia prima.

MATERIA PRIMA	
T_a (°C)	38,63
T_b (°C)	5
Masa de arándanos (kg)	600
Nº pallets en túnel	10
T_{In} (°C)	16,45
ΔH_{resp} _{16,45} (mW/kg)	205,3
Q (W)	123,18



Figura 7. Pallets de materia prima.

5.2 Calor generado por la respiración del producto en producto terminado

Se evaluaron las cargas con cuatro tipos diferentes de embalajes. Caja 4.4oz “Sweet Fruit” es el embalaje con destino a China, el cual tiene una capacidad de 631,8 kg de arándanos por pallet como producto terminado. El producto salió del packing a 5°C y se llevó al túnel para bajarle la temperatura a 0°C para poder ser trasladado hasta su lugar de destino.

Tabla 7. Calor generado por respiración del producto en Sweet Fruit.

CAJA 4.4OZ SWEET FRUIT	
PRODUCTO TERMINADO CAJA ROJA	
T_a (°C)	5
T_b (°C)	0,001
Masa de arándanos (kg)	631,8
Nº pallets en túnel	20
T_{in} (°C)	0,59
$\Delta H_{resp} _{1,25}$ (mW/kg)	32,35
Q (W)	20,44



Figura 8. Arándanos destino a China envasados.

Caja 1 Pinta “Sweet Blue”, embalaje con destino a Estados Unidos tiene una capacidad de 873,12kg de producto por pallet. El producto al igual que el anterior salió del packing a 5°C y se introdujo en el túnel de pre-frío para bajar su temperatura a 0°C.

Tabla 8. Calor generado por respiración del producto en Sweet Blue.

CAJA 1 PINTA SWEET BLUE	
PRODUCTO TERMINADO CAJA AZÚL	
T_a (°C)	5
T_b (°C)	0,001
Masa de arándanos (kg)	873,12
Nº pallets en túnel	20
T_{in} (°C)	0,59
$\Delta H_{resp} _{1,25}$ (mW/kg)	32,35
Q (W)	28,25



Figura 9. Arándanos destino a Estados Unidos envasados.

Caja 1 Pinta “Calgiant” con destino a Estados Unidos tiene una capacidad de 795,6kg de arándanos por pallet. El producto salió del packing a 5°C y entró al túnel de pre-frío para bajar su temperatura a 0°C.

Tabla 9. Calor generado por respiración del producto en Calgiant.

CAJA 1 PINTA CALGIANT	
PRODUCTO TERMINADO CAJA CAFÉ	
T_a (°C)	5
T_b (°C)	0,001
Masa de arándanos (kg)	795,6
Nº pallets en túnel	20
T_{in} (°C)	0,59
$\Delta H_{resp} _{1,25}$ (mW/kg)	32,35
Q (W)	25,74



Figura 10. Arándanos destino a Estados Unidos envasados.

Caja 1/2 Pinta 6oz “Sweet Blue” con producto a granel, destino Estados Unidos, tiene una capacidad de 1029,6kg de arándanos por pallet. El producto salió del packing a 5°C y entró al túnel de pre-frío para bajar su temperatura a 0°C.

Tabla 10. Calor generado por respiración del producto Sweet Blue a granel.

CAJA 1/2 PINTA 6 OZ SWEET BLUE	
PRODUCTO TERMINADO A GRANEL CAJA AZUL	
T_a (°C)	5
T_b (°C)	0,001
Masa de arándanos (kg)	1029,6
Nº pallets en túnel	20
T_{in} (°C)	0,59
$\Delta H_{resp} _{1,25}$	32,35
Q (W)	33,31



Figura 11. Arándanos destino a China envasados.

5.3 Calor generado por el producto como materia prima

El arándano fue cosechado a 38,63°C. En el packing entró al túnel de pre-frío con capacidad de 10 pallets de materia prima para bajar su temperatura a 5°C con una demora de 30 minutos, posteriormente se llevó a la sala de procesos generando una carga de calor del arándano de 41.813W por pallet.

Tabla 11. Calor generado por el producto como materia prima.

MATERIA PRIMA	
T_a (°C)	38,63
T_b (°C)	5
Masa arándanos (kg)	600
Nº pallets en túnel	10
C_{pu} (kJ/kg°C) (*)	3,73
Tiempo de enfriamiento (s)	1800
Q (W)	41.813,3

(*)Fuente: Tabla 1, página 30.2, capítulo 30 ASHRAE.



Figura 12. Arándanos como materia prima.

5.4 Calor generado por el arándano como producto terminado

El pallet de caja 4.4oz Sweet Fruit, con 631,8 kg de fruta, entró al pre-frío de producto terminado (capacidad 20 pallets) a 5°C y después de 9 horas bajó su temperatura a 0°C, temperatura ideal para el embarque. El arándano como producto terminado en este proceso se requiere extraer 363,6 W de calor por pallet.

Tabla 12. Calor generado por el arándano en embalaje Sweet Fruit.

CAJA 4.4OZ SWEET FRUIT	
PRODUCTO TERMINADO CAJA ROJA	
T_a (°C)	5
T_b (°C)	0,001
Masa arándanos por pallets (kg)	631,8
Nº pallets en túnel	20
C_{pu} (kJ/kg°C) (*)	3,73
Tiempo de enfriamiento (s)	32400
Q (W)	363,6

(*)Fuente: Tabla 1, página 30.2, capítulo 30 ASHRAE.

El pallet de caja 1 pinta Sweet Blue, con 873,12 kg de fruta, entró al pre-frío de producto terminado a 5°C y transcurrido 9 horas bajó su temperatura a 0°C. El arándano como producto terminado en este proceso se requiere extraer 502,5 W de calor por pallet.

Tabla 13. Calor generado por el arándano en embalaje Sweet Blue.

CAJA 1 PINTA SWEET BLUE	
PRODUCTO TERMINADO CAJA AZÚL	
Ta (°C)	5
Tb (°C)	0,001
Masa arándanos por pallets (kg)	873,12
Nº pallets en túnel	20
Cpu (kJ/kg°C) (*)	3,73
Tiempo de enfriamiento (s)	32400
Q (W)	502,5

(*)Fuente: Tabla 1, página 30.2, capítulo 30 ASHRAE.

El pallet de caja 1 pinta Calgiant, con 795,6 kg de fruta, entró al pre-frío de producto terminado a 5°C y transcurrido 9 horas bajó su temperatura a 0°C. El arándano como producto terminado en este proceso generó 457,9 W de calor por pallet.

Tabla 14. Calor generado por el arándano en embalaje Calgiant.

CAJA 1 PINTA CALGIANT	
PRODUCTO TERMINADO CAJA CAFÉ	
T _a (°C)	5
T _b (°C)	0,001
Masa arándanos por pallets (kg)	795,6
Nº pallets en túnel	20
C _{pu} (kJ/kg°C) (*)	3,73
Tiempo de enfriamiento (s)	32400
Q (W)	457,9

(*)Fuente: Tabla 1, página 30.2, capítulo 30 ASHRAE.

El pallet de caja ½ pinta 6oz Sweet Blue, con 1029,6 kg de fruta a granel en bolsa de atmósfera controlada, entró al pre-frío de producto terminado a 5°C y después de 9 horas bajó su temperatura a 0°C. El arándano como producto terminado en este proceso se requiere extraer 592,5 W de calor por pallet.

Tabla 15. Calor generado por el arándano en embalaje Sweet Blue a granel.

CAJA 1/2 PINTA 6 OZ SWEET BLUE	
PRODUCTO TERMINADO A GRANEL CAJA AZUL	
T _a (°C)	5
T _b (°C)	0,001
Masa de arándanos por pallets (kg)	1029,6
Nº pallets en túnel	20
C _{pu} (kJ/kg°C) (*)	3,73
Tiempo de enfriamiento (s)	32400
Q (W)	592,5

(*)Fuente: Tabla 1, página 30.2, capítulo 30 ASHRAE.

5.5 Calor de los envases plásticos en pre-frío de ingreso

Los arándanos fueron transportados desde el huerto al packing en bandejas verdes plásticas de polietileno que tienen una masa de 0,3 kg cada una. Se cosecharon a 38,63°C y se llevó el pallet con 240 bandejas al túnel de pre-frío de materia prima (capacidad del túnel es de 10 pallet de materia prima) para bajar su temperatura a 5°C, que es la temperatura a la cual se procesa el arándano. Transcurrido los 30 minutos, se requiere extraer un calor por los envases plásticos de 3.094 W por pallet.

Tabla 16. Calor de bandejas cosecheras.

PRE-FRÍO DE MATERIA PRIMA	
Carga por bandejas unidad	2,5
Masa de bandejas (kg)	0,3
Nº bandejas verdes	240
Nº pallets en túnel	10
T _a (°C)	38,63
T _b (°C)	5
C _p plástico (kJ/(kg*°C)) (*)	2,3
Masa total de envases (kg)	72
t (segundos)	1800
Q (W)	3.094,0

(*)Fuente: Tabla 8, página 30.13, capítulo 30 ASHRAE



Figura 13. Bandejas cosecheras de 2,5 kilogramos.

5.6 Calor de los envases plásticos en pre-frío de producto terminado

El pallet de cajas Sweet Fruit, fue introducido en el pre-frío de producto terminado para bajar la temperatura de 5°C a 0°C. El embalaje estaba compuesto de 390 cajas por pallet, cada una con su respectiva bolsa con 12 clamshell por caja, por lo que durante el periodo de enfriamiento se requiere extraer 48,8 W de calor por los envases de plásticos.



Figura 14. Clamshell, bolsa y caja para exportación a China.

Con respecto a la caja Sweet Blue el embalaje estaba compuesto de 204 cajas por pallet, cada una con su respectiva bolsa perforada con 8 clamshell por caja, por lo que durante el periodo de enfriamiento se requiere extraer 31,9 W de calor por los envases.



Figura 15. Clamshell, bolsa y caja para exportación a Estados Unidos.

La caja Calgiant el embalaje estaba compuesto de 204 cajas por pallet, cada una con su respectiva bolsa perforada con 12 clamshell por caja, por lo que durante el periodo de enfriamiento se requiere extraer 36,47 W de calor por los envases de plásticos.



Figura 16. Clamshell, bolsa y caja para exportación a Estados Unidos.

Por último, el pallet de Sweet Blue a granel estaba compuesto de 312 cajas con sus respectivas bolsas de atmósfera. El producto estuvo en proceso de enfriamiento durante 9 horas, la cual se requiere extraer 37,01 W de calor por los envases plásticos.



Figura 17. Bolsa y caja para exportación a Europa.

Tabla 17. Calor de los diferentes embalajes de producto final en un túnel de 20 pallets.

Caja	Calor envases (W) 1 pallet	Calor envases (W) 20 pallets
Sweet Fruit	48,818	976,4
Sweet Blue	31,864	637,3
Calgiant	36,367	727,3
Sweet Blue granel	36,961	739,2

5.7 Calor de pallets en pre-frío de ingreso

El túnel de materia prima tiene una capacidad de 10 pallets. El arándano entró al proceso de enfriamiento con 38,63°C y después de 30 minutos bajó la temperatura a 5°C. Durante el tiempo transcurrido en el túnel, se generó 10.481 W de calor por pallet.

Tabla 18. Calor de pallet en pre-frío de materia prima.

MATERIA PRIMA	
Nº pallets en túnel	10
T _a (°C)	38,63
T _b (°C)	5
C _p madera (kJ/kg°C) (*)	2,805
Masa de pallets (kg)	20
Masa del total de pallets (kg)	200
t (s)	1800
Q (W)	10.481,4



Figura 18. Pallet taco para materia prima.

5.8 Calor de pallets en pre-frío de producto terminado

El túnel de producto terminado tiene una capacidad de 20 pallets. El arándano entró al proceso de enfriamiento con 5°C y después de 9 horas bajó la temperatura a 0°C. Durante el tiempo transcurrido en el túnel, se requiere extraer 173,1 W de calor por pallet.

Tabla N°19: Calor de pallet en cámara de producto terminado

PRODUCTO TERMINADO	
Nº pallets en túnel	20
T _a (°C)	5
T _b (°C)	0,001
C _p madera (kJ/kg°C)	2,805
Masa pallets (kg)	20
Masa del total de pallets (kg)	400
t (s)	32400
Q (W)	173,1



Figura 19. Pallet taco para producto terminado.



Figura 20. Pallet yugo para producto terminado.

5.9 Calor de cargas misceláneas en pre-frío de materia prima

Los pre-frío de materia prima están fabricados con panel frigo 40mm Poliuretano. Para enfriar la fruta, la temperatura ambiente de la cámara se estableció a 10°C y la temperatura interna a 2°C, generando un calor de cargas misceláneas de 364,1 W.

Tabla 20. Calor generado por paredes, piso y techo en cámara de materia prima.

Item	U (W/(m ² *°C))	Largo (m)	Ancho (m)	A (m ²)	Tamb (°C)	Tint (°C)	Producto
Norte	0,45	18	2,8	50,4	10	2	181,44
Sur	0,45	18	2,8	50,4	10	2	181,44
Este	0,45	3,5	2,8	9,8	10	2	35,28
Oeste	0,45	3,5	2,8	9,8	10	2	35,28
Piso	0,33	18	3,5	63	20	2	374,22
Techo	0,45	18	3,5	63	10	2	226,80
							1.034,5W



Figura 21. Cámara de pre-frío para materia prima.

5.10 Calor de cargas misceláneas en pre-frío de producto terminado

Los pre-frío de producto terminado están fabricados con panel frigo 40mm Poliuretano. Las dimensiones del túnel son: 18 metros de largo, 3,5 metros de

ancho y 2,8 metros de alto. Para enfriar la fruta, la temperatura ambiente de la cámara se fijó en 5°C y la temperatura interna en -1°C, generando un calor de cargas misceláneas de 245,9 W.

Tabla 21. Calor de paredes, piso y techo en cámara de producto terminado.

Item	U (W/(m ² *°C))	Largo (m)	Ancho (m)	A (m ²)	Tamb (°C)	Tint (°C)	Producto
Norte	0,45	18	2,8	50,4	5	-1	136,08
Sur	0,45	18	2,8	50,4	5	-1	136,08
Este	0,45	3,5	2,8	9,8	5	-1	26,46
Oeste	0,45	3,5	2,8	9,8	5	-1	26,46
Piso	0,33	18	3,5	63	5	-1	124,74
Techo	0,45	18	3,5	63	5	-1	170,10
							619,9W



Figura 22. Cámara de pre-frío para producto terminado.

Dentro de la operación de enfriamiento uno de los problemas detectados fue el de no uniformidad de temperatura de pulpa del arándano al salir del túnel de pre-frío, dado que esta operación se hace mediante el cubrimiento superior de los pallets y que el flujo de aire frío es desde el exterior de las dos filas de pallets hacia el interior de estos. Se propone ver la forma de invertir en algún momento del enfriamiento de la dirección del flujo de aire frío. Esto significaría agregar una operación intermedia de apertura de puertas y reposicionamiento de la carpa.

5.11 Calor de motores en túnel de materia prima

El túnel de materia prima está compuesto por tres motores, cada uno con potencia de 7,5HP. Al estar funcionando durante 30 minutos, que es el tiempo que se demora en bajar la temperatura del arándano, los motores generaron un calor de 21.937,5 W.

Tabla 22. Calor de motores en cámara de materia prima.

PRE-FRÍO MATERIA PRIMA	
Nº motores	3
Potencia motor (7,5HP/motor) (W)	5.625
Q _{equivalente} (kW/kW)	1,3
Q_{motor}(W)	21.937,5

5.12 Calor generado por motores en túnel de producto terminado

El túnel de producto terminado está compuesto por tres motores, cada uno con potencia de 15HP. Al estar funcionando durante 9 horas aproximadamente, los motores generaron un calor de 29.250,0 W.

Tabla 23. Calor generado por motores en cámara de producto final.

PRE-FRÍO PRODUCTO TERMINADO	
N° motores	3
Potencia $_{motor}$ (7,5 KW/motor)(W)	7.500
$Q_{equivalente}$ (kW/kW)*	1,3
Q_{motor}(W)	29.250,0

Fuente: (*)Tabla 4, página 26.3, capítulo 26. ASHRAE.



Figura 23. Motores en pre-frío para producto terminado.

5.13 Calor generado por luces en túnel de pre-frío

Dentro de cada cámara de pre-frío, ya sea de materia prima o producto terminado, existen dos focos de luz, cada uno con potencia de 150 W, por lo que genera 300 W de calor.

Tabla 24. Calor generado por luces en cámaras de pre-frío.

PRE-FRÍO DE ARÁNDANOS	
Número luces	2
Potencia luces (W)	150
Q_{luces} (W)	300



Figura 24. Luces en cámara de pre-frío para materia prima.

5.14 Calor generado por las personas

Tabla 25. Calor generado por personas en cámara de pre-frío.

PRE-FRÍO DE ARÁNDANOS	
Número personas	0
q personas (W)	240
Q_{per}	0

Aunque el cálculo revela 0 personas al interior del túnel, cabe mencionar que la cámara en la que está instalado el túnel está sometida a frecuente tráfico de personas que ingresan materia prima hacia el túnel generando oscilaciones de

temperatura que perjudican el proceso de enfriamiento. En comunicación personal del supervisor de la línea se menciona que la determinación de temperaturas ambiente y de la pulpa en forma manuales, provocan un deterioro en la operación de enfriamiento por lo que se sugiere automatizar dicha operación de adquisición de datos mediante un sistema de termometría en línea.

Otro aspecto a considerar es que al abrir la puerta de la cámara se produce el ingreso de una gran masa de aire externo (a alta temperatura) lo que hace variar la temperatura interior de la cámara retrasando el periodo de enfriamiento, en este caso la sugerencia es la instalación de cortina de aires o deflectores que permitan un menor intercambio de masas de aire.

También es necesario comentar acerca de la ubicación actual de los ventiladores de la cámara de pre-frío, los que se consideran que están excesivamente altos, los que podrían ser modificados disminuyendo la altura y con ellos mejorando la eficiencia de movimiento de aire y de enfriamiento, dado que mejora el coeficiente convectivo de calor.

5.15 Calor total que ingresa

La materia prima durante el proceso de enfriamiento sumando todos los calores involucrados generó en 10 pallets 531,7 kW de calor.

El embalaje Sweet Fruit sumando cada uno de los calores generados durante el proceso de enfriamiento como producto terminado generó en 20 pallets 42,5

kW de calor. Por otro lado, el embalaje Sweet Blue generó en 20 pallets 45,3 kW, el Calgiant en 20 pallets 44,4 kW y por último el embalaje Sweet Blue a granel generó en 20 pallets 47,5 kW de calor.

Tabla 26. Resumen del total de calor que ingresa dependiendo del embalaje

Tipo de embalaje	Calor total que ingresa por embalaje (kW)
Túnel de materia prima para 10 pallets	531,7
Túnel producto terminado Sweet Fruit para 20 pallets	42,5
Túnel producto terminado Sweet Blue para 20 pallets	45,3
Túnel producto terminado Calgiant para 20 pallets	44,4
Túnel producto terminado Sweet Blue granel para 20 pallets	47,5

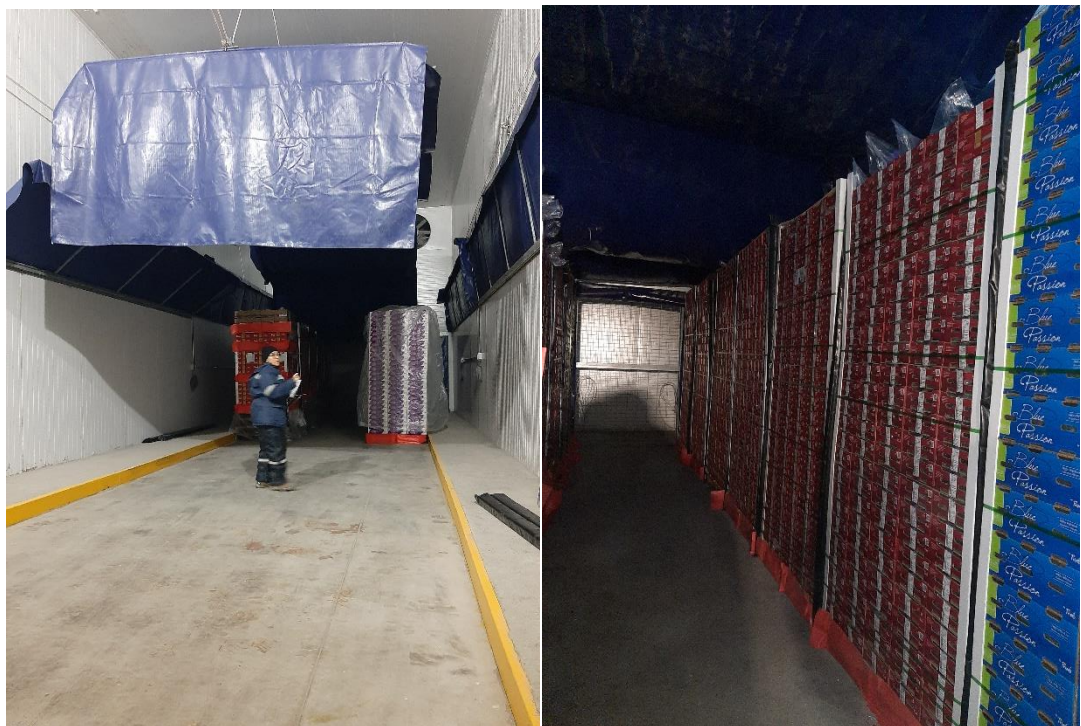


Figura 25. Cámara de pre-frío con producto terminado.

La temperatura tiene una relación directa con el metabolismo de la fruta y con la vida en poscosecha, por lo que, al llegar la fruta del huerto, son ingresados en estos túneles que están diseñados para remover el calor de la fruta y disminuir su metabolismo de forma rápida. Los arándanos llegan a temperaturas de entre 24 y 20°C desde el huerto y se trabaja para obtener una temperatura de 5°C. Se carga el túnel en forma ordenada y homogénea, se llena la planilla de control del proceso de enfriamiento, luego se colocan sensores de termometría para pulpa y aire, se inicia el túnel y se verifica cada 15 minutos la baja de temperatura. De ser necesario, realizar inversión de pallets o cambio de la dirección del flujo de aire.

Posterior a este proceso, la fruta es llevada a cámaras de mantención, estas se utilizan para mantener la temperatura de la fruta una vez que ésta fue enfriada en los túneles de pre-frío (5°C) para luego pasar por la línea de procesos y ser embalada y paletizada.

Finalmente, los arándanos embalados y paletizados son llevados a los pre-frío de producto terminado, se trabaja para llegar a una temperatura de 0°C, que es la temperatura ideal para poder ser despachados en los camiones (estos camiones están diseñados para mantener la temperatura de la fruta en 0°C, durante su trayecto) hasta llegar al puerto de destino.

Tabla 27. Requerimiento total de frío para la materia prima.

MATERIA PRIMA	10 pallets
Capacidad de refrigeración (kJ/kg)	900,0
Q total (kW)	531,7
V refrigerante (kg/s)	0,6
Q compresor (kW)	177,2
HP compresor	315,1

Tabla 28. Requerimiento total de frío para producto terminado

PRODUCTO TERMINADO	20 PALLET
Capacidad de refrigeración (kJ/kg)	900,0
Q total (kW)	47,5
V refrigerante (kg/s)	0,1
Q compresor (kW)	15,8
HP compresor	28,1

Tabla 29. Requerimiento total de frío para materia prima, aplicando diagrama de amoniaco.

MATERIA PRIMA	10 PALLET
Q_{total} (kW)	532,5
Capacidad de refrigeración (kJ/kg)	900,0
V_{refrigerante} (kg/s)	0,6
Q_{compresor} (kW)	177,5
HP_{compresor}	315,5

Tabla 30. Requerimiento total de frío para producto terminado, aplicando diagrama de amoniaco.

PRODUCTO TERMINADO	20 PALLET
Q_{total} (kW)	48,0
Capacidad de refrigeración (kJ/kg)	900,0
$V_{refrigerante}$ (kg/s)	0,1
$Q_{compresor}$ (kW)	16,0
$HP_{compresor}$	28,4

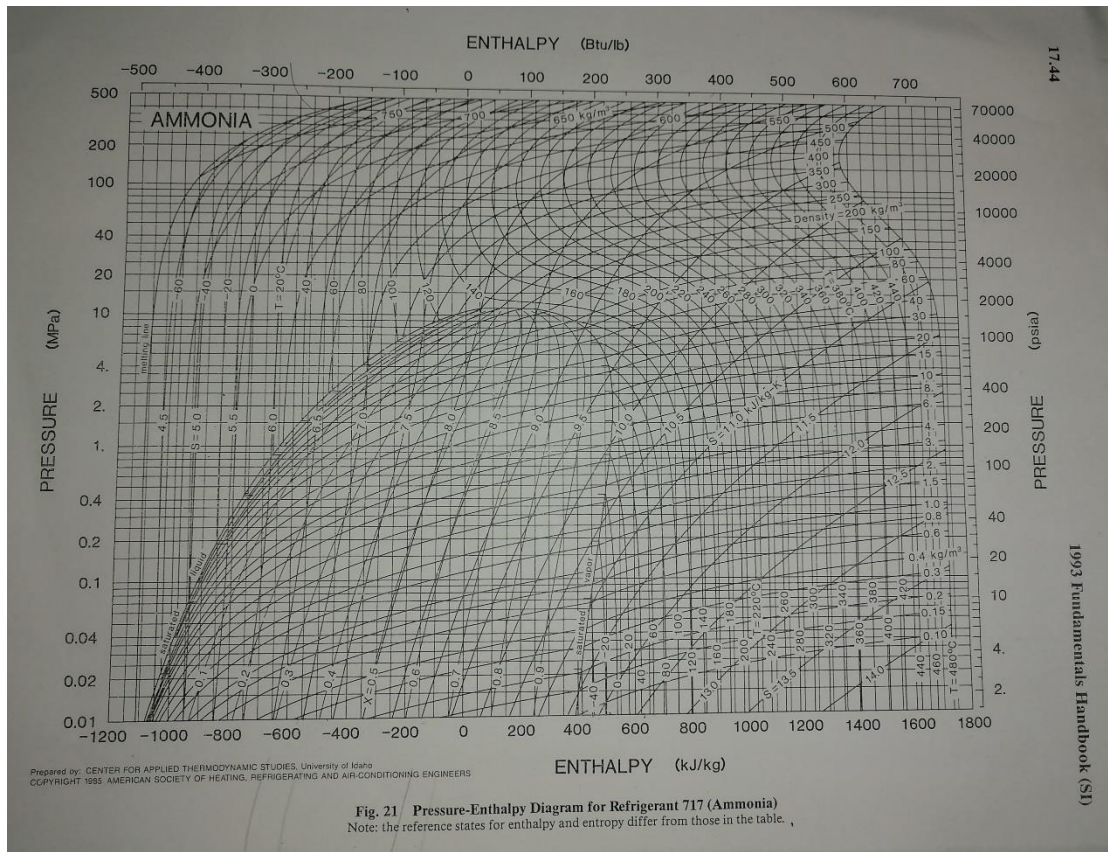


Figura 26. Diagrama de presión de entalpía del amoniaco.

5 CONCLUSIÓN

De acuerdo a los datos meteorológicos, para la Región de Ñuble, el mes más exigente y con mayor temperatura máxima fue el mes de febrero 2018 con 38,63°C.

Se determinaron los requerimientos de enfriamiento para condiciones extremas en la región de Ñuble. En la cámara de pre-frío de materia prima se requiere retirar 86,7% de la energía desde la fruta, mientras que en la cámara de pre-frío de producto terminado, esto corresponde a 28,7%.

Las principales fuentes de energía a retirar en la cámara de pre-frío de materia prima son desde el producto, envases y motores.

Las recomendaciones para una mayor eficiencia en las cámaras de pre-frío de producto terminado son las siguientes:

Instalar sensores de termometría para llevar un control efectivo y así evitar el ingreso de personal.

Usar reflectores a la entrada de la cámara de pre-frío, en la parte superior para un mejor manejo del aire dentro de esta.

Mejorar el uso de las carpas, es decir, levantar las carpas en la parte de atrás, cerrar la compuerta de al medio donde se encuentra el extractor y abrir la de los costados para invertir el flujo de aire.

La altura del túnel del pre-frío es muy excesiva por ende los ventiladores quedan por muy sobre de los pallets. Esto provoca mucha pérdida de aire por sobre los pallets enfriándose.

6 LITERATURA CITADA

1. ASHRAE, 2014. American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, "ASHRAE Handbook", Refrigeration Volume, 2014.
2. ASOEX. 2021. Temporada de arándanos chilenos llega a su fin con aumento de volumen y mejor mix de variedades [en línea]. Asociación de exportaciones de frutas de Chile A.G, Chile. <<https://www.asoex.cl/comunicados/finish/23-comunicados-de-prensa/1335-06-de-abril-de-2021.html>> [Consulta: 09 agosto 2021].
3. Barichivich, J. M. 2010. El canal de distribución del arándano en fresco exportado desde Chile a Estados Unidos. Tesis, Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía. Santiago, Chile.
4. Bello, F., N. Almirón, N. Beltramini, D. Vásquez. 2012. Comportamiento postcosecha de variedades patentadas de arándanos cultivadas en Entre Ríos. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. 13(1): 31-36.
5. Defilippi, B., P. Robledo, C. Becerra. 2018. Manejo de cosecha y postcosecha de arándanos. [en línea]. BLUEBERRIES. <<https://blueberriesconsulting.com/manejo-de-cosecha-y-postcosecha-de-arandanos/>> [Consulta: 24 abril 2020].

6. Figueroa, D., J. Guerrero, E. Bensch. 2010. Efecto de momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la calidad en postcosecha de arándano alto (*Vaccinium corymbosum L.*), CVS. 28(1): 79-84.
7. Buczacki S. 1994. Frutas de jardín. Primera Edición Española. Madrid, España.
8. González, A., J. Riquelme, A. France, H. Uribe, P. Robledo. 2017. Manual de manejo agronómico del arándano. Boletín N° 371. INIA. Santiago, Chile.
9. Morales, C. G. 2017. Requerimiento de suelo y clima. Boletín N° 371. INIA Raihuén. Villa Alegre, Chile.
10. Muñoz, J.A. 1985. Refrigeración española de la nutrición. N°2. Fundación española de la nutrición. Madrid, España.
11. Parodi, G. J. 2017. Factores clave para asegurar el desarrollo del cultivo de arándanos en Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Departamento de Horticultura. Molina, Perú (Documento de clases, gparodi@lamolina.edu.pe).
12. Ramírez, J. A., 2007. Nueva enciclopedia de la climatización: Refrigeración. CEAC. Barcelona, España.
13. Sánchez, E. 2006. Diagnóstico y proyección de la producción de arándanos de la zona sur de Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile. 81p.
14. Undurraga, P., S. Vargas. 2013. Manual del arándano. Boletín N° 263. INIA Quilamapu. Chillan, Chile.

15. Vuarant, C. O. 2010. Arándanos: Avances científicos y tecnológicos. Facultad de Ciencias de la alimentación. Universidad Nacional de Entre Ríos. Entre Ríos, Argentina.
16. Whitman, W. C., W. M. Johnson. 2000. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado. S.A. Ediciones Paraninfo. Madrid, España.