



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

**“Efecto de la cicatriz pedicelar, la cutícula y el estado de madurez de arándanos,
(*Vaccinium corymbosum* L.) cv. ‘Duke’ en la pérdida de agua y ablandamiento del
fruto en almacenaje”**

Memoria de Título

Vanessa Catalina Díaz Morales

TALCA – CHILE

2021

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2021

APROBACIÓN:



Profesor Co-Guía

Ing. Agrónoma, M.Sc., Dra. Claudia Moggia Lucchini

Profesora Escuela de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad de Talca



Profesor Co-Guía

Ing. Agrónomo, Dr. Gustavo Lobos Prats

Profesor Escuela de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad de Talca

Fecha de presentación de la Defensa de Memoria: 14 de mayo de 2021.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Oriana y Juan Carlos, los cuales siempre me han enseñado que para conseguir cada uno de nuestros objetivos debemos ser perseverantes en la vida. Me han apoyado durante toda mi etapa universitaria, ya sea con una palabra de aliento o con una muestra de cariño, nunca pusieron en duda mis capacidades. A mis hermanas y hermano, ellos son un pilar fundamental en mi vida, siempre me han brindado ayuda cada vez que lo he solicitado, siendo un apoyo incondicional en los momentos más difíciles. Gracias a ellos he logrado cumplir todo mis proyectos personales y esta carrera.

A mis familiares, abuelos, tíos y primas siempre dispuestos a brindar su apoyo y ayuda en cuanto fue necesario.

A mis amigos de la universidad, me quedo con excelentes recuerdos de la vida. Todos los opens, los almuerzos y oncesitas, todo el cariño, anécdotas y las risas juntos.

También agradezco a mis Profesores guías Claudia y Gustavo, y a todo el equipo Fondecyt, por su buena voluntad, por orientarme, por ser tan generosos en compartir sus conocimientos y apoyo durante todo este proceso.

RESUMEN

Actualmente, el cultivo de arándano ocupa una superficie de alrededor de 18.400 ha plantadas a nivel nacional. En la temporada 2020, se exportó cerca de 84.400 t, destinadas principalmente a Norteamérica (49 %), Europa (36%) y Extremo Oriente (15%). Esta fruta exportada se transporta principalmente por vía marítima, y puede tardar entre 20 a 50 días, desde la cosecha al consumidor final. Por lo que, es un gran desafío mantener las características de calidad de la baya durante el almacenamiento prolongado. El arándano es un fruto muy perecedero, propenso a perder agua en postcosecha, lo que provoca ablandamiento y pérdida de firmeza de la baya, siendo estos los principales factores que pueden limitar su comercialización y/o provocar rechazos en los mercados destinos. Se ha reportado que la deshidratación está influenciada por la cicatriz pedicelar, pero se podría disminuir por la presencia de las barreras físicas (ceras y cutícula) que posee el arándano. El objetivo del presente estudio fue evaluar la pérdida de agua de acuerdo a su barrera física (ceras) y características morfológicas (cicatriz pedicelar) según el momento de cosecha y estado de madurez durante almacenamiento bajo distintas humedades relativas. Para la investigación, se seleccionaron arándanos del cv. 'Duke', sin ningún tipo de daño mecánico, que fueron sometidos a dos ensayos: El Ensayo 1 consistió en 4 tratamientos artificiales de sellado y/o remoción de ceras: Tratamiento control, T0 (fruto sin alteración); T1: fruto sin ceras (remoción con hexano); T2: fruto sin ceras y con cicatriz pedicelar sellada; T3: sólo cicatriz pedicelar sellada. En el Ensayo 2 los tratamientos correspondieron a dos estados de madurez: 100% azul (C100) y fruto recolectado 6 días después de tornarse 100% azul (C100+X). Para ambos ensayos los frutos se sometieron a almacenaje refrigerado (1,2°C) por 9 días, bajo dos condiciones contrastantes de humedad relativa (HR; 40 y 83% para Ensayo 1; 40 y 96 % para Ensayo 2). Durante dicho período a los frutos se les midió diariamente el peso para calcular la pendiente de pérdida de agua (PPA, g día⁻¹), obteniéndose una relación inversamente proporcional y lineal entre la pérdida de peso y el tiempo de guarda, en cada una de las HR estudiadas. Además, se confirmó que la cicatriz pedicelar es la fuente más importante en la pérdida de agua, respecto a las ceras cuticulares, efecto que se hizo más evidente en el peak de cosecha y con baja HR (40%). Por último, la PPA varió según el estado de madurez, incrementándose en bayas sobremaduras, efecto que también fue más marcado en 40% de HR.

Palabras clave: arándano, pérdida de agua, estructuras del fruto, humedad relativa, estado de madurez, postcosecha.

ABSTRACT

Currently, the blueberry cultivation occupies a reaching around 18.400 hectares planted nationwide. In the 2020 season, around 84.400 tons were exported, destined mainly to the North America (49%), Europe (36%), Far East (15%). This exported fruit is transported mainly by sea, and the fruit can take between 20 to 50 days, from the harvest to the final consumer. So that, it is big challenge quality characteristics must be maintained the fruit during long storage. The Blueberry being a very perishable fruit is susceptible to water loss in postharvest, it what causes fruit softening and loss of firmness. Being, these major factors that can limit its commercialization and/or cause rejections in the destination markets. Dehydration has been reported to be influenced for the stem scar, but this in turn could be avoided due to the presence of physical barriers (waxes and cuticle) that blueberries have. For the present study, Its objective is to evaluate the loss of water according to its physical barrier (waxes) and morphological characteristics (stem scar) according to the harvest time and state of maturity during storage under different relative humidity. For the investigation, blueberries were selected from cv. 'Duke', without any type of mechanical damage, which were subjected to consistent treatments in different ways. In a first trial, the fruit sealed the stem scar and/or removed the waxes: Control treatment (unpainted fruit); T1 fruit without waxes; T2 fruit without waxes and only painted pedicel scar; T3 only painted pedicel scar. In the second trial, the treatments were according to their maturity states, that is, 100% blue fruit (C100) and fruit that was harvested 6 days after turning 100% blue (C100 + X). The treatments were subjected to refrigerated storage (1,2 °C) for 9 days, under two relative humidity conditions (RH; 40 y 83 first trial; 40 y 96% second trial). During this period the two trial, the weight that results in the dehydration of fruit was measured daily, obtaining an inversely proportional and linear relationship between weight loss and storage time in each of the Hr studied. In addition, it was observed that the pedicellar scar is an important source in the loss of water with respect to cuticular waxes, consequences that were evidenced in peak harvest time in low RH (40%). Finally, this rate of weight loss varies according to the state of maturity, increasing in overripe berries, an effect that was marked at 40% RH.

Key words: blueberry, water loss, HR, fruit structures, state of maturity, postharvest.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1. Hipótesis	10
1.2. Objetivo general	10
1.2.1 Objetivo específico	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Generalidades del arándano	11
2.1.1. Procedencia	11
2.1.2. Característica de la planta	11
2.2. Madurez y cosecha	11
2.4. Almacenaje y transporte de frutos de arándano	12
2.5. Componentes de calidad de los frutos	13
2.6. Ablandamiento y causas	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Materiales vegetal y selección de la fruta	18
3.2. Ensayos	18
3.1.1. Ensayo 1: Efecto de las barreras morfológicas	18
3.1.2. Ensayo 2: Efecto del estado de madurez a cosecha sobre la pérdida de agua	1j
Error! Marcador no definido.	
3.2. Generalidades	1jError!
Marcador no definido.	
3.2.1. Cosecha	19
3.2.2. Unidad de experimental	20
3.2.3. Almacenaje.....	20
3.2.4. Generación de HR dentro de cada contenedor	21
3.3. Evaluaciones	22
3.3.1. Pérdida de peso	22
3.3.2. Temperatura y Humedad Relativa	22
3.3.3. Diseño experimental.....	22
4. RESULTADOS	23
4.1. Ensayo 1: Efecto de las barreras morfológicas	23
4.2. Ensayo 2: Efecto del estado de madurez a cosecha sobre la pérdida de agua	27
5. DISCUSIÓN	30
5.1. Importancia de las estructuras del fruto de arándano en la pérdida de agua	30
5.2. Relevancia de la humedad relativa en el estado de Madurez	31
6. CONCLUSIONES	33
7. BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos (azul: tejido intacto, rojo: pintado con esmalte, transparente: sin “ <i>bloom</i> ”), sobre el cambio de la pendiente de la pérdida de agua (PPA) en el cv. ‘Duke’, en momento de cosecha de Floreo, almacenados por 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C bajo distintas condiciones de HR.	24
Cuadro 2. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos (azul: tejido intacto, rojo: pintado con esmalte, transparente: sin “ <i>bloom</i> ”), sobre el cambio de la pendiente de la pérdida de agua (PPA) en el cv. ‘Duke’, en momento de cosecha de Peak, almacenados por 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C bajo distintas condiciones de HR	25
Cuadro 3. Impacto de la humedad relativa (HR) y Estado de Madurez (C100 y C100+X), sobre el cambio de la pendiente de la pérdida de agua (PPA) en el cv. ‘Duke’, en momento de cosecha de Floreo y Peak, almacenados por 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C bajo distintas condiciones de HR.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caracterización gráfica de estructuras de cutícula vegetal. Adaptado por Yeats y Rose (2013).	15
Figura 2. Representación esquemática de los tratamientos aplicados en 'Duke', donde; Control: tratamiento control (fruto sin pintar); T1: fruto sin ceras; T2: fruto sin ceras y con cicatriz pedicelar pintada; T3: sólo cicatriz pedicelar pintada.	18
Figura 3. Representación de los estados de madurez	19
Figura 4. Representación de los canastillos en la caja	20
Figura 5. Representación de los soportes en la caja	20
Figura 6. Sistema de bombeo para controlar la humedad relativa, donde; la bomba (c) impulso el flujo de aire a través de tubos (1) hacia el contenedor con la solución de agua (b), el aire humidificado se movió a través de un tubo (2) hacia el interior del contenedor con fruta (a)	21
Figura 7. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados, sobre la pendiente de la pérdida de agua (PPA) de frutos de arándano del cultivar 'Duke' en momento de cosecha Peak, almacenados durante 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (40 – 83%).	2;Error! Marcador no definido.
Figura 8. Impacto de la humedad relativa (HR) y Estado de Madurez, sobre la pendiente de la pérdida de agua (PPA) de frutos de arándano del cultivar 'Duke' en momento de cosecha Floreo y Peak, almacenados durante 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (40 – 96%).	29

1. INTRODUCCIÓN

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) fue introducido en Chile entre los años 1980 a 1990. En los últimos años se ha extendido a una superficie de alrededor de 18.400 hectáreas plantadas en el país. La región del Maule es la que presenta mayor participación en el terreno nacional, con un 32% aproximadamente (CIREN-ODEPA, 2019). El arándano es un fruto muy apetecido a nivel mundial, debido a la variedad de propiedades beneficiosas para la salud y nutrición. Este fruto contiene un gran aporte como fuente de vitamina C y antioxidantes. Debido a lo anterior, gran parte de la producción de arándano en Chile se exporta en estado fresco. Los principales destinos son Norteamérica (49 %), Europa (36%) y Extremo Oriente (15%) (Chilean Blueberry Committee, 2020). En el año 2020 se registraron 84 mil 400 toneladas y USD 402,5 millones FOB en las exportaciones de esta fruta (Odepa,2020).

Se ha observado que estas bayas se caracterizan por tener una vida útil muy corta (Terry *et al.*, 2009). Por lo tanto, es clave el momento y manejo en la cosecha para conservar la calidad del fruto, sin que se vea afectado su balance de dulzor/acidez, aroma, apariencia y firmeza, así como también su proporción de agua, puesto que la pérdida de ésta desencadena la pérdida de peso (Defilippi *et al.*, 2013).

El desafío de mantener la fruta en buenas condiciones es aún mayor durante su almacenamiento y transporte, el cual varía según el lugar de destino. El transporte se puede realizar por vía aérea o marítima. Esta última vía es la más utilizada para el traslado de los arándanos, y se estima que se requiere de un lapso de 45 a 60 días para llegar al consumidor final. De esta forma, es un gran desafío mantener las características de calidad de la baya durante el almacenamiento prolongado (Moggia *et al.*,2012).

La humedad relativa (HR), la variación de temperatura y las concentraciones en la atmósfera (modificaciones de la composición de (O₂ y CO₂) de un embalaje pueden provocar diferencias significativas en la calidad del producto final (Moggia *et al.*, 2012; Paniagua *et al.*, 2014). Es por esto, que se ha implementado el uso de tecnologías relacionadas al manejo adecuado de estas variables. El manejo más importante en la postcosecha de cualquier especie es la temperatura, para lo cual, se recomienda almacenar y transportar el arándano con temperaturas lo más cercanas a 0°C (Moggia *et al.*, 2012). Esto permite disminuir la tasa de respiración del fruto y con ello un incremento en la vida útil. Además, favorece la retención de agua, lo cual impacta de manera positiva el peso y aspecto del fruto, ya que evita su ablandamiento y/o pérdida de firmeza (Defilippi *et al.*, 2013). Otros estudios han revelado que, para evitar la pudrición y el ablandamiento

del arándano, simultáneamente debe existir una HR entre 90% y 95% (López, 2003), y una atmósfera modificada (AM) con 10% de CO₂ y 2,5% de O₂ (Paniagua *et al.*, 2014).

Al combinar el manejo de baja temperatura con el uso de AM en el almacenamiento y transporte del fruto, se observa que éstas ayudan a mantener las características organolépticas y la retención de firmeza. Esta última es una de las más importante, puesto que si el fruto se deshidrata pierde firmeza. Por lo tanto, los cambios de textura durante el almacenamiento pueden tener un notorio efecto de aceptabilidad o rechazo por parte del consumidor (Chiabrandó *et al.*, 2009).

La firmeza está directamente influenciada por factores tales como: estado de madurez, variedad, tamaño del fruto y temperatura interna (Bañados, *et al.*, 2002; Lobos *et al.*, 2018). Estudios han revelado que los frutos y variedades pueden ser muy heterogéneos durante su estado de madurez. Esto genera una amplia gama en los niveles de firmeza durante el periodo de cosecha. Donde se ha observado que los frutos pueden presentar la misma tonalidad azul y diferencias en su maduración fisiológica, por lo tanto, una amplia gama en niveles de firmeza (Moggia *et al.*, 2017b; Lobos *et al.*, 2014).

Está ampliamente demostrado que el arándano es un fruto muy perecedero, es decir, de vida útil muy corta y se ha estudiado el efecto de las variables externas que permiten su mantención en óptimas condiciones durante el almacenamiento y traslado. Sin embargo, hay escasa información, de estudios que evalúen el rol de las estructuras morfológicas del arándano para alcanzar una óptima conservación, tales características son la cicatriz pedicelar y las barreras físicas como son las cutículas y ceras (Valdés, 2019).

La cicatriz pedicelar es una de las principales fuentes de pérdida de agua del fruto, mientras que la cera o capa hidrofóbica desempeña un rol protector en función de reducir la pérdida de agua, puesto que controla el intercambio de gases y la filtración de luz ultravioleta, la cual es dañina para el fruto (Moggia *et al.*, 2017b). Este trabajo busca profundizar en el estudio del comportamiento de estas estructuras morfológicas en función de las condiciones climáticas de crecimiento de la fruta, el estado de madurez a cosecha, y la humedad relativa en almacenaje.

A continuación, se plantea la hipótesis y objetivos del presente trabajo:

1.1 Hipótesis

La importancia relativa de la cicatriz pedicelar y la cutícula sobre la tasa de pérdida de agua del fruto de arándano está influenciada por diversos factores tales como: las condiciones macro/micro-climáticas durante la temporada de crecimiento y el estado de madurez al momento de cosecha y la humedad relativa durante el almacenamiento del fruto.

1.2 Objetivo general

En frutos del cultivar 'Duke', determinar la tasa de pérdida de agua, diferenciando entre el aporte relativo de la cicatriz pedicelar y la cutícula (bloom), de acuerdo al momento de cosecha y estado de madurez, bajo dos condiciones contrastantes de HR en almacenaje.

1.2.1 Objetivos específicos

Mediante el sellado o remoción de las barreras físicas de frutos del cv. 'Duke', (cicatriz y cutícula), cuantificar la tasa de pérdida de agua generada en arándanos cosechados durante el floreo y peak de la temporada de producción y almacenados en condiciones de alta y baja HR.

Cuantificar la tasa de pérdida de agua en función del estado de madurez (fruto maduro vs. fruto sobremaduro), cosechados en el peak de producción y almacenados en condiciones de alta y baja HR.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades del arándano

2.1.1. Procedencia

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), pertenece a la familia Ericaceae. Es un arbusto frutal que se encuentra distribuido ampliamente por el hemisferio norte, mayoritariamente en Norteamérica, Europa Central y Eurasia, mientras que en el hemisferio sur se encuentra principalmente en América del sur y en menor cantidad en África y Madagascar (García, 2010).

Este fruto fue importado desde Estados Unidos y Nueva Zelanda a Chile a finales de la década de los 70' por el Instituto Nacional de Investigación Agrícola (INIA) y la Universidad Austral, con el objetivo de estudiar la implementación del fruto en el país, con la finalidad de proyectar una expansión de la industria frutícola. A finales de la década de los 80' se establecieron las primeras plantaciones comerciales de arándano las cuales se incrementaron exponencialmente hasta la actualidad. (Retamales *et.al.*,2013).

2.1.2 Características de la planta

Los primeros arbustos de arándanos que se cultivaron en Chile en la década de los 80' fueron de tipo "ojo de conejo" o "rabbiteye" y de tipo "arbusto alto" o "highbush" (*Vaccinium corymbosum* L.) (Retamales *et al.*, 2012). Este último se considera como el de mayor calidad y representa un 85% de la superficie cultivada a nivel mundial (García *et al.*, 2013). Existe un gran número de variedades de esta especie por lo que son las más cultivadas en Chile, 'Duke' y 'Brigitta' (INIA, 2017).

'Duke' representa la mayor participación en la superficie nacional. Es un cultivar de producción semi-temprana, con requerimientos inferiores a 800 horas frío al año. Es un arbusto vertical, abierto y con excelente resistencia a la época de invierno. El tamaño promedio de los frutos medianos varía entre los 14-16 mm, son firmes y poseen una pequeña cicatriz pedicelar. Es considerada una variedad de buen comportamiento en postcosecha (Borlando P, 2012; Retamales y Hancock, 2012; Campa y Ferreira, 2017).

2.2 Madurez y cosecha

Los arándanos durante el desarrollo de sus frutos exhiben comúnmente un patrón de curva doble sigmoidea (Godoy et al.,2008). Debido a que, el crecimiento de la baya se genera en tres etapas marcadas: la primera etapa de división celular, donde ocurre un período rápido de

desarrollo hasta el florecimiento de la flor del fruto, la segunda, se presenta un crecimiento lento junto al desarrollo de las semillas, en la tercera etapa, se observa el máximo crecimiento, en la cual hay un rápido aumento en el volumen del fruto (Tamada, 2012).

La primera etapa de floración ocurre en el mes de septiembre, período en el que también ocurre la polinización (Retamales y Hancock, 2012). Luego de la floración, comienza el desarrollo de la baya, proceso que puede durar entre 42 a 90 días. El desarrollo varía dependiendo de las diferentes condiciones ambientales de la temporada. Puesto que, si el arándano está expuesto a altas temperaturas, esto acelerará el proceso de maduración del fruto (Bañados, 2016).

Un indicador de madurez, es la variación de coloración del fruto, donde en sus estadios iniciales se torna a un color cremoso, posteriormente comienza a pigmentar a un tono verde claro a verde cremoso. Luego, en el proceso de pinta su tonalidad se vuelve rojiza a violácea (Mesa, 2015). Por último, cuando el fruto se encuentra maduro se torna de un azul a azul negro debido a la acumulación de pigmentos antociánicos (Feippe, 2012; Rodríguez, et.al. ,2015). Durante el proceso de maduración, la baya exhibe un alza en la tasa respiratoria y de etileno, influenciado por la temperatura (Kader,1992). Además, Lobos (2014) indica que la madurez también se ve influenciada por otros factores, tales como: genotipo o cultivar, método de cosecha, manejo, prácticas culturales y factores ambientales. En este proceso ocurren cambios fisiológicos, tales como: el ablandamiento de la pulpa, incremento en la concentración de antocianinas y aumento de tamaño (Eichholz et al., 2015), así como también variaciones en la firmeza y peso (Godoy et al., 2008). En la etapa de maduración el fruto experimenta diversos cambios fisiológicos que es influenciado por las condiciones ambientales.

2.3 Almacenaje y transporte de frutos de arándanos

Después de la cosecha del fruto, es muy importante preservar su calidad y retrasar la senescencia del fruto (Kader,1992). El índice de calidad más importante del arándano en la postcosecha está dado por la firmeza, ya que de ésta depende la aceptabilidad del consumidor. Sin embargo, hay otro aspecto de calidad como la resistencia a lesiones y enfermedades (Lic *et al.*, 2011). Por lo que es necesario controlar el déficit de presión de vapor, la temperatura (T) y HR. Se considera esta última condición la que mayor influencia tiene sobre la tasa de respiración de la baya (Crisosto et al., 1993; Fonseca et al., 2002). Se indica que pequeñas variaciones en la HR y la T generan diferencias en el déficit de presión de vapor (DPV) y, en efecto, se alteran las tasas de pérdida de agua de los frutos (Ben-Yehoshua y Rodov, 2003). Adicionalmente la

pérdida de peso se encuentra relacionada de forma directamente proporcional con el DPV, es decir, que a menor DPV, la pérdida de peso igualmente disminuye (Whitelock et al., 1994).

Como ya mencionado anteriormente, uno de los factores más relevantes para la prolongación de la vida del fruto y la firmeza de éste después de la cosecha es la temperatura, debido a que está relacionada directamente con su metabolismo (Delippi, 2013). Es por esto que al momento de cosecha y postcosecha se deben tomar ciertas medidas para la adecuada mantención del fruto. Siendo una de ellas el enfriado a 0°C para el óptimo almacenamiento y/o transporte. Es necesario destacar que se debe mantener la cadena de frío hasta su destino he impedir el incremento de temperatura. Así también es importante mantener una HR entre 90 y 95% para disminuir el déficit de presión de vapor y deshidratación, evitando la pérdida de agua del fruto (Delippi, 2017).

Además del uso de las bajas temperaturas (0°C), se ha implementado una serie de tecnologías con el fin prolongar la vida en postcosecha. Una de ellas consiste en la reducción de O₂ y un incremento en los niveles de CO₂ durante el almacenamiento y/o transporte. Para esto, se utilizaron dos técnicas; atmósfera modificada (AM) y atmósfera controlada (AC) (Kader,1992; Moggia, 2012; Paniagua, 2014). La técnica AM depende de la tasa de respiración del fruto, mientras que dicha tasa de respiración depende de la temperatura ambiente y de la cubierta cerosa (permeabilidad principal). En cambio, si se utiliza la tecnología de la AC, ésta no dependerá de la respiración del fruto, puesto que la composición de los gases que se utilizarán será ajustada y/o mantenidos de manera automática a lo largo de todo el período de almacenamiento (Defilippi, 2013; Rodríguez *et.al.*,2015). En ambas técnicas el principal objetivo es disminuir la actividad metabólica del fruto, así como el control de hongos. Dentro de los beneficios se encuentra la reducción de la deshidratación y el desarrollo de pudrición.

El transporte al país de destino puede ser por vía aérea o marítima. Al ser más costosa la vía aérea los productores prefieren la vía marítima, siendo utilizada en el 95% de los envíos, sin embargo, esta vía posee una desventaja al demorar entre 45 o 60 días en llegar al consumidor final (Moggia, 2018).

2.4 Componentes de calidad de la fruta

La calidad del arándano está influenciada por varios factores durante su desarrollo y maduración, principalmente las características medioambientales, la posición en que se sitúe el fruto en la planta, el estado de madurez a cosecha, el tiempo transcurrido entre cosechas, el momento de cosecha (inicio, peak y fina) y la hora de cosecha. Adicionalmente influyen el

enfriamiento antes de la línea de embalaje del fruto, el tiempo de envío al lugar destino y la duración y condición del viaje, entre otros (Lobos, 2018).

El proceso de postcosecha del arándano es un punto fundamental para llegar con un producto de excelente calidad al consumidor. La calidad se encuentra definida por una serie de aspectos que se pueden asociar a las características organoléptica, nutricional y de apariencia física del fruto. La calidad organoléptica está asociada a la cantidad de acidez titulable (AT), los sólidos solubles (SS) y los compuestos volátiles (Prange y DeEll, 1995), entregando este último el aroma particular al fruto. La calidad nutricional se relaciona con el contenido de vitaminas, minerales y antioxidantes en la fruta (Kader, 1997). Por último, la apariencia física del fruto, está determinada por la uniformidad del color de la baya, la forma, el tamaño, la firmeza y la presencia de la cera o "bloom" en la superficie de ésta, la cual no debe presentar defectos mecánicos o pudriciones, para que así se pueda otorgar al consumidor un aspecto de fruta fresca (Defilippi, 2013). Algunos aspectos como la firmeza y el ablandamiento pueden variar durante la postcosecha dependiendo del estado de madurez del fruto. Es importante señalar que los frutos en un mismo arbusto pueden tener diferentes niveles de maduración, generando a la vez diferentes niveles de firmeza y ablandamiento durante la postcosecha (Lobos *et al.*, 2018).

Se ha demostrado que retrasar la cosecha, una vez que el fruto ha alcanzado el 100% de coloración azul, genera un incremento en la cantidad de SS y disminución de la acidez que aumenta la relación SST/AT, lo cual provoca mayor dulzor en la fruta (Lobos *et al.*, 2014) sin embargo compromete su potencial de almacenaje al resultar en frutos de menor firmeza (Moggia *et al.*, 2017). Otro aspecto que se ve afectado en postcosecha es el peso del fruto; considerando que desde la cosecha hasta el almacenamiento transcurren alrededor de 33 a 40 días, en ese periodo se estima que se pierde entre un 6 a 8 por ciento del peso de las bayas, lo cual se debe exclusivamente a la pérdida de agua (Defilippi, 2017; Figueroa *et al.*, 2010).

2.5 Ablandamiento y causas

El ablandamiento del fruto es una de las principales limitantes a la hora de comercializar el arándano, pues es el atributo de calidad más importante para el consumidor. El ablandamiento es causado durante la cadena de postcosecha debido a diferentes causas, entre ellas se encuentra el manejo de la temperatura, el tiempo de guarda, las barreras físicas de la fruta (cutícula, y cera) y las características de la cicatriz pedicelar).

Los frutos deben permanecer a una temperatura óptima de almacenaje, ya que si esta se incrementa a 10°C genera un aumento en la tasa de respiración. Esto provoca a su vez una

pérdida de peso y ablandamiento del fruto. Por lo tanto, el tiempo de guarda, es decir, el tiempo de almacenamiento, no debe superar los 10°C, para que no existe una mayor pérdida de peso, firmeza y en consecuencia el ablandamiento del fruto. (Valdés, 2019).

En cuanto a las barreras físicas, se encuentra la cutícula y la cera. La primera, es una membrana externa mayoritariamente lipídica que recubre la superficie, es la primera barrera entre la atmósfera y el fruto (Segado, 2017). Así también la cutícula es la matriz extracelular, es decir, cubre la pared celular de las células epidérmicas (Domínguez, 2010). Su principal componente es la matriz de poliéster de ácidos grasos polihidróxidos C₁₆ y C₁₈ los cuales están cubiertos e incrustados por un complejo de ceras amorfas intra- y epi-cuticulares, y en menor medida por compuestos fenólicos (Jetter *et al.*, 2000).

La cutícula al ser una barrera física en los frutos, cumple funciones importantes tales como proveer de soporte mecánico, proteger contra los rayos ultravioleta (actúa termorregulador), evitar la acumulación de partícula de polvo y esporas, así como también mantener limpia y seca la superficie del fruto, proteger de temperaturas extremas (Klavis y Klavis, 2020; Tafolla, 2013). La pérdida de agua en postcosechas es causada, en gran medida por la difusión a través de la cutícula y durante el proceso de respiración (Lara *et al.*, 2014; Tafolla, 2013).

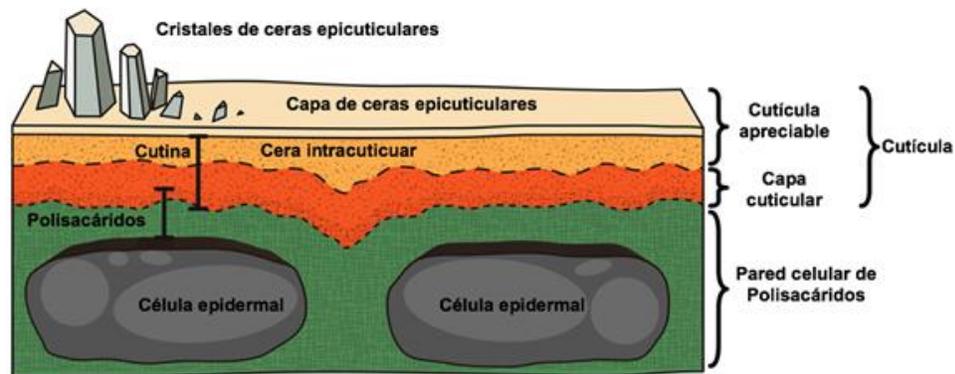


Figura 1. Representación gráfica de la cutícula vegetal, Adaptado por Yeats y Rose (2013).

Las ceras cuticulares están constituidas por una combinación de componentes alifáticos (n-alcenos, ácidos alcánicos, alcanos, aldehídos, ester de alquílicos) y no alifáticos (triterpenoides pentacíclicos y derivados de los esteroides). La participación de uno u otros componentes va a proporcionar la presencia de distintas estructuras morfológicas, así como amorfa o cristalinas (Figura 1) (Bartholott, 1998; Hendrik, 2006). Por una parte, se considera que las zonas cristalinas son impermeables al agua y actúa como una barrera, ya que está compuesta por hidrocarburos alifático. Por otra parte, las zonas amorfas de la cera funcionan de forma contraria (Shepherd y

Griffiths, 2006), puesto que a través de ellas se puede difundir el soluto y el agua, debido a la presencia de triterpenoides (Casado y Heredia, 1999).

Se ha observado que los triterpenoides se encuentran en una amplia gama de plantas, tales como la cereza, manzanos, tomate, ciruelas y arándanos. De acuerdo a Chu et al., (2017), los arándanos *V. corymbosum* y *V. ashei*, en promedio están cubiertos por una capa de cera de 89 $\mu\text{g cm}^{-2}$ cuyo principal componente son los triterpenos, que representan el 64% del total. Por lo tanto, existe una alta proporción de este compuesto en este tipo de fruto.

Los triterpenoides pueden contener ácido ursólico o ácido oleanólico. En el primer caso, se encuentran diferentes tipos de arándanos que poseen gran cantidad de triterpenoides en donde predomina el ácido ursólico como son; *V. corymbosum* del sur, cv. 'Misty', 'O'Neal' y 'Sharpblue', también en *V. ashei* 'Brightwell', 'Premier' y 'Powderblue'. En el segundo caso, también se encuentran otras variedades de arándanos que se componen con triterpenoides, pero donde predomina el ácido oleanólico, tales como; *V. corymbosum* del norte, cv. 'Legacy', 'Darrow' y 'Brigitta' (Chu et al., 2017).

Para los cvs. 'Duke' y 'Brigitta' se identificó triterpenos con una importante cantidad de lupeol en su composición, además de ácido ursólico y ácido oleanólico, cuyas diferencias estuvieron en las cantidades de cada cultivar. 'Duke' presentó una mayor composición de triterpenos que 'Brigitta', así como también se determinó que 'Duke' contenía de 2 a 7 veces más ácido ursólico que 'Brigitta'. En cambio, en la cantidad de ácido oleanólico en 'Brigitta' se estima que es el doble aproximadamente más que 'Duke' (Moggia et al., 2016). Este mismo estudio reveló que en los cultivares 'Duke' y 'Brigitta' existe una relación estrecha entre la cantidad de ácido ursólico y la pérdida de peso en el fruto ($r=0,96$).

Por último, la cicatriz pedicelar, que se produce debido a la separación entre el pedicelo y el fruto, es otro factor muy relevante en la pérdida de agua en el fruto. Por ejemplo, en el caso de los tomates su cutícula actúa como barrera a la difusión de gases y pérdida de agua, pues es 1000 veces más protectora que la cicatriz pedicelar. Por una parte, se ha demostrado que aporta en un 97% al intercambio de gases con el entorno, independiente de la cantidad de cera presente en la superficie del tomate (Cammeron y Yang, 1982). Por otra parte, se observó que dejar el pedicelo unido con el fruto del tomate cosechado ayudó a reducir el intercambio de gases entre un 3% a 6% aproximadamente (Paul et al., 2010). Así también al sellar el pedicelo de la uva la tasa de transpiración baja a un 16%, aludiendo que la transpiración en esta situación, estaría

restringida, primordialmente por la cutícula del fruto (Becker y Knoche, 2011). En contraste, la cicatriz pedicelar del arándano es relevante en la deshidratación, de acuerdo al tamaño y volumen expuesto. Se ha demostrado que el área de esta puede representar un 0,19 a 0,074% de la superficie de la baya, sin embargo, es responsable del 39 a 67% de la pérdida de agua del fruto; este valor es menor en los genotipos que exhiben una cicatriz más pequeña (Moggia *et al.*, 2017).

Es por esto que el presente estudio tiene como objetivo evaluar la pérdida de peso mediante la interacción de las estructuras morfológicas (cicatriz pedicelar) y su barrera física (ceras) en el cv. 'Duke'. Para ello, los frutos son almacenados a una temperatura de 1,2°C, en dos condiciones de HR en 40% y 80%. Además, se analizará el fruto maduro y sobre maduro, a una temperatura de 1,2°C y en dos condiciones de HR (40% y 96%). Para esto, se evaluará la pérdida de peso durante el almacenamiento en ambas condiciones.

/

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material vegetal y selección de la fruta

En el presente estudio, se utilizaron frutos del cultivar 'Duke' procedentes de la zona central de Chile (Huerto El Roble. Latitud:35°49'434 S, Longitud: 71°33'374 O, Linares, Chile). El huerto corresponde a una plantación del año 2005, con 2,5m x 1m distancia de plantación y en orientación NS.

3.2 Ensayos

3.1.1 Ensayo 1: Efecto de las barreras morfológicas

La fruta fue recolectada en estado de madurez 100 de coloración % azul (C100), tanto al inicio (floreo) como en el "peak" de la temporada de cosecha. Con el fin de obtener frutos homogéneos en cuanto a madurez, previo a cada momento de cosecha, se efectuó un arreglo de racimos (de acuerdo a lo propuesto por Lobos et al., 2018), eliminando bayas que presentaban más de 75% de coloración azul; a partir de ese momento se monitoreó visualmente el avance en madurez hasta conseguir el 100% de coloración en la fruta (C100). Los frutos fueron cosechados de la cara norponiente de las plantas, los días 25/11/2020 y 05/12/2020 para el floreo y "peak", respectivamente.

Así, para cada momento de cosecha (floreo y peak) y en el estado de madurez C100, se determinó la participación de la cicatriz pedicelar y las ceras que componen el "bloom" como vías de movimiento del agua desde el fruto al ambiente. Para ello se procedió a generar 4 tratamiento consistentes en sellado de las estructuras, usando esmalte de uñas de secado rápido (Catrice Cosmetics, Ultimate Nail Lacquer, Sulzbach, MTK, Alemania) y remoción de ceras, mediante la inmersión de frutos en hexano por 5 s. Los tratamientos se describen en la Figura 2. La fruta de cada tratamiento fue almacenada en frío (1,2°C) bajo dos condiciones de HR (83% y 40%).

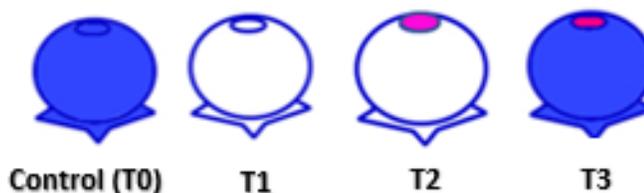


Figura 2. Representación esquemática de los tratamientos aplicados en Duke, donde; **Control (T0):** tratamiento control (fruto sin pintar); **T1:** fruto sin ceras; **T2:** fruto sin ceras y con cicatriz pedicelar pintada; **T3:** sólo cicatriz pedicelar pintada.

3.1.2 Ensayo 2: Efecto del estado de madurez a cosecha sobre la pérdida de agua.

Para este ensayo, nuevamente previo al peak de cosecha se seleccionó un grupo de 40 plantas en las que se realizó una homogenización del estado de madurez de la baya con el fin de conseguir el estado C100 descrito en el ensayo 1. En el momento que los frutos llegaron al estado C100, se recolectó la mitad de ellos y la otra mitad se mantuvo en la planta por 6 días adicionales, lográndose un estado sobremaduro (C100+X). La cosecha se obtuvo a partir de la cara norponiente de las plantas y las fechas en este ensayo correspondieron al 08/12/2020 y 14/12/2020, para C100 y C100+X, respectivamente. La fruta de cada estado de madurez fue almacenada en frío (1.2°C) bajo dos condiciones de HR (96% y 40%).

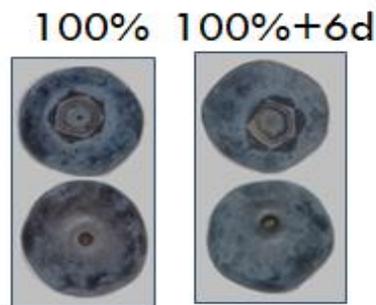


Figura 3. Representación de los estados de madurez.

3.2. Generalidades:

3.2.1. Cosecha

Para ambos ensayos, al momento de cosecha, las bayas fueron dispuestas directamente en pocillos comerciales (“clamshells”) evitando excesiva manipulación que pudiera remover las ceras de la cutícula. Posteriormente, la fruta fue depositada en una nevera refrigerada para ser trasladada a los laboratorios de la Universidad de Talca. En el laboratorio, a una temperatura ambiente de 20°C, la fruta fue seleccionada, de forma manual por homogeneidad, descartando aquellos frutos que presentaron partidura, russet, indicios de deshidratación, hongos o cualquier otro tipo de daño o defecto visual

3.2.2. Unidad experimental

Todos los ensayos consideraron, para cada uno de los tratamientos, repeticiones compuestas de 5 frutos cada una (unidad experimental) dispuestos en un canastillo sostenido por un soporte (Figura 4) especialmente diseñado para ser ubicado dentro de un contenedor de PVC (35 cm de largo, 24 cm de ancho y 14 cm de alto) con cierre hermético donde se generaron las diferentes condiciones de HR (Figura 5). De esta forma los frutos quedaron expuestos de forma individual al aire que se generaba al interior de cada contenedor sellado.



Figura 4. Representación de los canastillos dispuestos en el soporte.



Figura 5. Representación de los soportes en la caja.

3.2.3 Almacenaje

Cada uno de los tratamientos generados en cada ensayo, fue sometido a almacenaje refrigerado ($1,2 \pm 0,7$ °C) en contenedores herméticos (4 repeticiones de 5 frutos por tratamiento, en cada caja), bajo 2 condiciones controladas de HR. Adicionalmente, cada HR fue replicada tres veces, en contenedores independientes. Cada una de las cajas fue acondicionada el día de cosecha y mantenida en la cámara de frío sin tapa, para lograr el enfriamiento de la fruta. Al día siguiente se procedió a sellar los contenedores y activar los sistemas de generación de HR.

3.2.4. Generación de HR dentro de cada contenedor

Para conseguir las condiciones de HR se inyectó, de acuerdo a lo propuesto por Valdés (2019) y Paniagua et al., (2014), aire humidificado generado por diferentes mezclas de agua bi-distilada/glicerina dispuestas a la entrada de cada contenedor en cajas de PVC (18,5 cm de largo y ancho, 9 cm de alto, Figura 6), en las siguientes proporciones: 100%/0%; 75%/0% y 0%/100%. Con esto se obtuvo 96% 83% y 40% de HR, respectivamente.

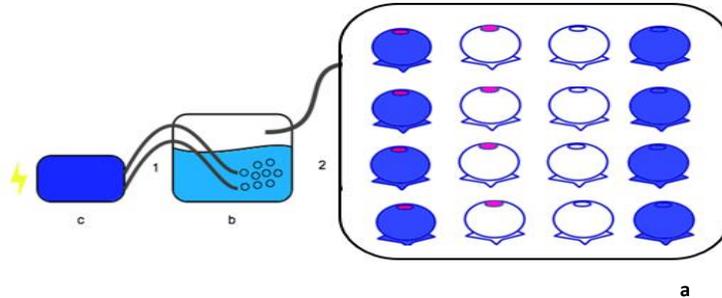


Figura 6. Sistema de bombeo para controlar la humedad relativa, donde; la bomba (c) impulsa el flujo de aire a través de tubos (1) hacia el contenedor con la solución de agua/glicerol (b), el aire humidificado se ingresa a través de un tubo (2) hacia el interior del contenedor con fruta (a).

Para movilizar el aire desde la caja hacia la solución mencionada y controlar la humedad relativa, se utilizó una bomba de aire (SB-348A, Sobo, India). Tal como se indica en la Figura 6, el sistema de bombeo conectó mediante mangueras plásticas (4 mm de diámetro interno) que impulsaban aire (4 L min^{-1}) a la solución de agua/glicerina, generando burbujas de aire humidificado que ingresa a la caja con la fruta.

Los sistemas de contenedores con HR controlada, se mantuvieron dentro de una cámara de frío a $1,2 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ por un periodo de 9 d. Para verificar que no existieran cambios de HR en los contenedores se registró la HR diariamente mediante sensores de humedad (mm) instalados al interior de las cajas (HOBO). Cuando fue necesario, se adicionó glicerina a las soluciones para rectificar la HR.

3.3. Evaluaciones

3.3.1. Pérdida de peso

Se estimó la pérdida de peso de los frutos, midiendo diariamente el peso (g) de cada soporte (5 frutos) para cada tratamiento, HR y repetición durante un periodo de 9 días. Con los datos, se obtuvo, para cada soporte, la pérdida de peso (PP) diaria (g) y con la PP acumulada se estimó, mediante regresión lineal simple, la pendiente de la pérdida de agua (g d⁻¹).

$$PP = (P_i - P_f)$$

donde; PP: pérdida de peso; P_i: peso inicial (g); P_f: peso final (g).

3.3.2. Temperatura y humedad relativa

La temperatura y humedad relativa se registró cada cinco minutos con un sensor (HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity, Onset Computer Corporation, MA, USA), el que se revisó diariamente para mantener las condiciones del ensayo, con temperatura de almacenaje de 1,2 ± 0,7 ° C, y cada HR con un rango de variación de ± 0,3 %.

3.3.3 Diseño experimental

En el ensayo 1, se consideró, para cada momento de cosecha (floreo y peak), un diseño completamente al azar en arreglo factorial 4 x 2, dado por los 4 tratamientos a la fruta y 2 condiciones de HR.

El ensayo 2 fue conducido como un Diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 x 2, dado por los dos estados de madurez (C100 y C100+X) y dos condiciones de HR

En cada uno de los ensayos, los datos de la pendiente de pérdida de peso (g día⁻¹) fueron sometidos a Análisis de Varianza y posterior separación de medias por pruebas de Tukey (p < 0,05); previa comprobación de la homogeneidad de las varianzas. Todos los análisis se realizaron mediante el software Stagraphics Centurion 19-X64

4. RESULTADOS

4.1. Ensayo 1: Efecto de las barreras morfológicas

Los frutos, del cv. 'Duke', provenientes tanto del floreo como del peak de cosecha, que fueron almacenados bajo dos condiciones de HR (40 y 83%) a 1,2°C por 9 d, presentaron diferencias significativas en la PPA, para ambos factores: tratamientos de cobertura y HR de almacenaje (Cuadros 1 y 2). Así mismo, los valores de R^2 calculados para la variable PPA, entre días y pérdida de peso, fluctuaron entre 0,71 a 1,0 (datos no se incluyen).

Independiente del nivel de intervención del fruto (sellado de la cicatriz y/o remoción del "bloom"), la HR generó diferencias significativas, en la PPA, donde se registró una mayor pérdida de agua a menor HR. Así, cuando la HR fue de 40 % se presentó una PPA de un 0,078 g día⁻¹ aproximadamente, mientras que para la HR más alta (83%) la pérdida fue menor, cercana al 0,058 g día⁻¹. Esto se logró ver reflejado tanto en los tratamientos del momento de cosecha floreo como también en el peak (Cuadros 1 y 2).

El análisis en función de las posibles vías de pérdida de agua del fruto, indica que T3, correspondiente a los frutos en donde se selló la cicatriz pedicelar, resultó en la menor PPA en ambos momentos de cosecha (0,048 y 0,026 g día⁻¹ para floreo y peak, respectivamente) (Cuadros 1 y 2). Adicionalmente, para fruta cosechada en el floreo, el control (T0) no se diferenció de frutos con remoción de ceras (T1 y T2) (Cuadros 1), independiente de la intervención en la cicatriz (valores entre 0,072 y 0,053 g día⁻¹). Para la cosecha realizada durante el peak de producción (Cuadros 2), el control (T0) tuvo un PPA intermedia, similar a T2 (sin cera y cicatriz sellada), resultando el T1 (remoción de ceras y cicatriz expuesta) en la máxima PPA (0,072 g día⁻¹).

Por el contrario, aquel fruto donde se removió la cera natural (T1), presentó un incremento en la PPA en momento de floreo y peak cosecha de un 0,072 g día⁻¹ y 0,084 g día⁻¹ respectivamente (Cuadros 1 y 2). Este tratamiento obtuvo una mayor diferencia significativa respecto a los demás ensayos en momento de peak. (Cuadros 2).

Respecto a la interacción entre los factores (Figura 7), ésta sólo resultó significativa en el peak de cosecha, donde se observó que la PPA varió en función tanto del tratamiento como de la HR. Así, la menor PPA ocurrió en T3 (cicatriz sellada) con alta HR. En segundo lugar, con mayor PPA se ubicaron T3/baja HR junto a T0, T2 y T1, todos en alta HR. Valores aún más elevados de PPA ocurrieron en T0 y T2 con baja HR (sin diferencias entre ellos); y en último lugar la máxima PPA ocurrió en T1/baja HR.

Cuadro 1. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos (azul: tejido intacto, rojo: pintado con esmalte, transparente: sin “*bloom*”), sobre el cambio de la **pendiente de la pérdida de agua (PPA)** en el cv. ‘Duke’, en momento de cosecha de Floreo, almacenados por 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C bajo distintas condiciones de HR.

Factor	Pendiente pérdida de agua (g día ⁻¹)
Humedad Relativa (HR, %)	
83	0,0577 a
40	0,0779 b
<i>Valor-P</i>	0,000
Tratamientos (Tt)	
T3 	0,0478 a
T2 	0,0677 b
T0 	0,0708 b
T1 	0,0847 b
<i>Valor-P</i>	0,000
Interacción	
(HR x Tt) <i>Valor-P</i>	0,8588

Para los factores, humedad relativa y tratamientos, letras distintas en las columnas indican diferencias significativas de test HSD Tukey ($p \leq 0,05$).

Cuadro 2. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos (azul: tejido intacto, rojo: pintado con esmalte, transparente: sin “*bloom*”), sobre el cambio de la **pendiente de la pérdida de agua (PPA)** en el cv. ‘Duke’, en momento de cosecha de Peak, almacenados por 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C bajo dos condiciones de HR.

Factor	Pendiente pérdida de agua (g día ⁻¹)
Humedad Relativa (HR, %)	
83	0,0334 a
40	0,0695 b
Valor-P	0,000
Tratamientos (Tt)	
T3 	0,0262a
T2 	0,0532 b
T0 	0,0542 b
T1 	0,0720 c
Valor-P	0,000
Interacción	
(HR x Tt) Valor-P	0,000

Para los factores, humedad relativa y tratamientos, letras distintas en las columnas indican diferencias significativas de test HSD Tukey ($p \leq 0,05$).

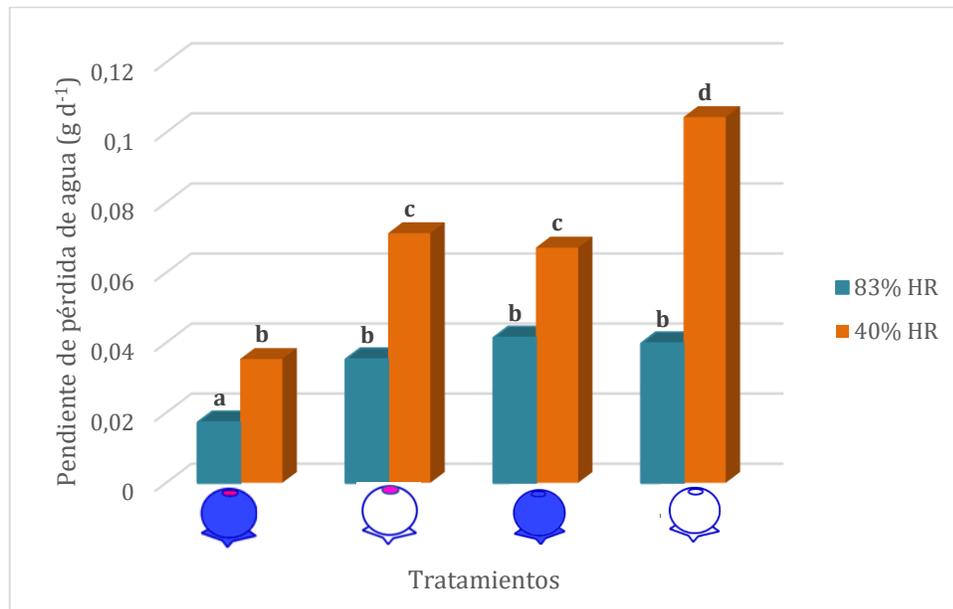


Figura 7. Impacto de la **humedad relativa (HR)** y tratamientos aplicados, sobre la **pendiente de la pérdida de agua (PPA)** de frutos de arándano del cultivar 'Duke' en momento de cosecha Peak, almacenados durante 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (40 – 83%).

4.2. Ensayo 2: Efecto del estado de madurez a cosecha sobre la pérdida de agua.

Los frutos del cv. 'Duke', cosechados en dos estados de madurez (C100 y C100+X) y almacenados bajo dos condiciones de HR (40 y 96%) a 1,2 °C durante 9 d, presentaron diferencias significativas para ambos factores (Cuadro 3). En este ensayo los valores R^2 para la variable PPA, (entre días y pérdida de peso) variaron entre 0,66 a 0,99 (datos no se incluyen).

Sin importar el nivel de estado de madurez, la HR generó variaciones en la PPA siendo mayor la pendiente en la HR 40 % ($0,058 \text{ g dia}^{-1}$); mientras que para la HR de 96% la pérdida fue mínima ($0,0009 \text{ g dia}^{-1}$).

Al evaluar la PPA respecto del estado de madurez también hubo diferencias, generándose mayor pérdida de peso por día ($0,0327 \text{ g dia}^{-1}$) en frutos sobremaduros, correspondientes a C100+X, respecto de fruta C100 que registró $0,0259 \text{ g dia}^{-1}$.

Adicionalmente, la interacción entre los factores también resultó significativa (Figura 8), indicando que la diferencia entre los estados de madurez se hizo evidente sólo con baja HR (40%), siendo mayor para C100+X, en tanto para fruta almacenada con 96% de HR, la PPA fue similar y muy baja ($< 0,01 \text{ g dia}^{-1}$).

4.2. Ensayo: Efecto del estado de madurez a cosecha sobre la pérdida de agua.

Cuadro 3. Impacto de la humedad relativa (HR) y Estado de Madurez (C100 y C100+X), sobre el cambio de la **pendiente de la pérdida de agua (PPA)** en el cv. 'Duke', en momento de cosecha de Floreo y Peak, almacenados por 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C bajo dos condiciones de HR.

Factor	Pendiente pérdida de agua (g día⁻¹)
Humedad Relativa (HR, %)	
96	0,0009 a
40	0,0577 b
<i>Valor-P</i>	0,000
Estado de Madurez (EM)	
C100	0,0259 a
C100 + X	0,0327 b
<i>Valor-P</i>	0,000
Interacción	
<i>(HR x EM) Valor-P</i>	0,0017

Para los factores, humedad relativa y tratamientos, letras distintas en las columnas indican diferencias significativas de test HSD Tukey ($p < 0,05$). Significancia: ($p < 0,05$)

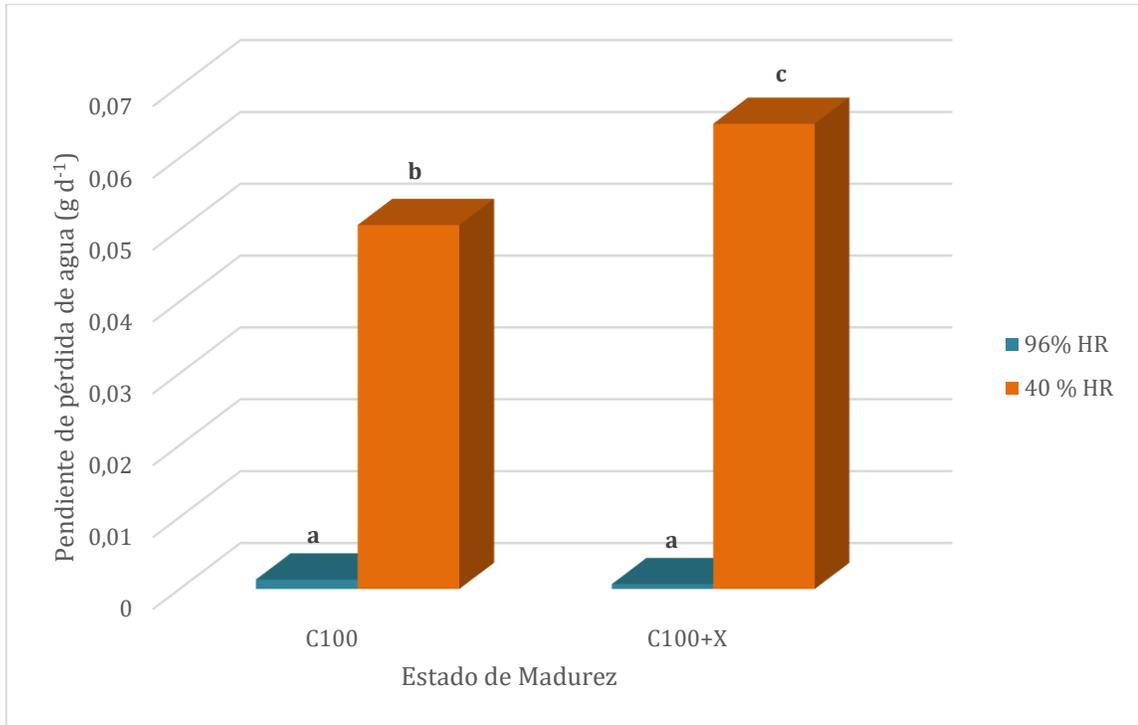


Figura 8. Impacto de la **humedad relativa (HR)** y Estado de Madurez, sobre la **pendiente de la pérdida de agua (PPA)** de frutos de arándano del cultivar ‘Duke’ en momento de cosecha Peak, almacenados durante 9 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo dos condiciones de humedad relativa (40 – 96%).

5. DISCUSIÓN

5.1 Importancia de las estructuras del fruto de arándano en la pérdida de agua

El arándano posee diferentes estructuras externas (ceras y cicatriz pedicelar) que favorecen la pérdida y/o retención de peso o agua del fruto (Lara *et al*, 2014; Tafolla, 2013). La cicatriz pedicelar es un poro abierto que permite la pérdida constante de agua. Esto se observa en los resultados de este ensayo, ya que en el tratamiento control la pérdida de agua varió entre 0,054 g día⁻¹ y 0,085 g día⁻¹, según el momento de cosecha, mientras que al sellar la cicatriz pedicelar (T3) se logró reducir prácticamente a la mitad (0,026 a 0,048 g día⁻¹). Esto concuerda con estudios previos en donde se revela que la cicatriz pedicelar, pese a representar menos del 1 % de la superficie total del fruto, es promotor de un 39 a 67% de la pérdida de peso, debido a que reduce el intercambio de gases hacia la atmósfera y también reduce la tasa de maduración (Moggia *et al.*, 2017). Otro estudio desarrollado por Valdés (2019) indica que al sellar la cicatriz pedicelar en el cv. 'Duke' se puede reducir alrededor del 16% su pérdida de agua.

Otro factor que potencia la retención de agua por parte de los arándanos es la presencia de ceras en la superficie (Moggia *et al.*, 2016). La composición química de la cera influye en la resistencia de desplazamiento del agua entre la superficie del fruto y la atmósfera (Riederer y Schneider, 1990).

Además, se observó que al momento de pintar la cicatriz pedicelar y remover el "bloom" (T2), la PPA de la baya no disminuyó con respecto al tratamiento control o del T1 en el floreo, pero sí lo hizo en T1, cuando se eliminaron las ceras y no se intervino la cicatriz, para el "peak" de cosecha (Cuadro 1 y 2). Esto confirma que la remoción de cera facilita el intercambio de gases con el ambiente, la cual puede incrementarse en un 300 a 500 veces (Schönherr, 1976), debido a la pérdida de la barrera física (Segado, 2010); sin embargo, la cicatriz tendría una mayor relevancia en este proceso y el efecto cambia en función del momento de cosecha, incrementándose la PPA en fechas más avanzadas de cosecha (peak). Además, en los estudios de Valdés (2019), también se observó que al remover la cera de los frutos hubo un aumento en la pérdida de agua, la cual se incrementó en un 50%.

Es importante mencionar que la PPA puede variar según el cultivar (Valdés, 2019) y composición química de la cera. Los arándanos tienen una abundante presencia de triterpenoides en la cera. Esto, genera zonas amorfas que permiten el paso del agua, debido a la presencia de ácido ursólico como compuesto principal en cultivares de *V. corymbosum* y *V. ashei* (Chu *et al.*, 2017). Este componente tiene una correlación positiva ($r = 0,96$) con la pérdida de peso, donde

'Duke' el cv. tiene entre 2 a 7 veces más contenido de ácido ursólico en comparación con 'Brigitta', lo que haría más propensa a "Duke" a la pérdida de peso (Moggia et al., 2016).

5.2 Relevancia del estado de madurez del fruto de arándano bajo dos humedades relativas

Se ha demostrado que la HR afecta de manera inversamente proporcional a la PPA (Valdés 2019); el presente estudio demuestra que, además, influye al estado de madurez a cosecha, ya que al recolectar separadamente C100 y C100+X, se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Cuadro 3).

En relación a la HR, al exponer la fruta a la mínima HR (40 %), se observó una mayor susceptibilidad a su pérdida de peso respecto de 96% HR. Esto podría ser explicado de acuerdo a la ley de Fick, que describe la difusión como un desplazamiento macroscópico de los componentes de un sistema a causa de la diferencia de concentraciones, es decir, que de un lugar de mayor potencial de soluto se desplaza hacia uno de menor concentración de soluto. Este equilibrio ocurre de forma espontánea sin la necesidad de requerir energía adicional (Nobel, 2009). Esto, se complementa con lo mencionado por Vargas (1984) donde las diferencias de presión de vapor (DPV), estimulan la circulación de moléculas entre la atmosfera y el fruto hasta converger en un punto de equilibrio. Por lo tanto, el fruto experimenta pérdida de agua, por la variación de presión de vapor, que se refleja en una disminución del peso.

Otro factor importante a considerar es el estado de madurez a cosecha, debido a que al incrementar el tiempo que la baya permanece en el huerto ocurrirá un aumento en la deshidratación en postcosecha (Figueroa et al., 2010; Moggia et al., 2017). Este acontecimiento se vio reflejado en los resultados del presente escrito, debido a que aquellos frutos que fueron cosechados a los 6 días posteriores a su cambio de coloración azul versus a las bayas extraídas el mismo día en que se tornaron azul si presentaron diferencias significativas, aunque el efecto sólo fue evidente en la HR más baja. Se demuestra que es más susceptible el estado más avanzado, C100+X. Es por esto que Kader (2002) señala que la recolección del fruto en el estado de madurez se debe realizar en el momento propicio, pues de esto dependerá como será su vida útil durante el almacenamiento. Esta recolección se puede hacer según la coloración de la superficie del fruto. El óptimo de cosecha es cuando la baya se torna de un color 100% azul (Banse, 2006) y así se asegura la calidad del fruto en un tiempo más prolongado.

El presente estudio demuestra la importancia de la cicatriz pedicelar, la presencia de ceras y el estado de madurez a cosecha sobre la potencialidad de guarda de la fruta. La exposición de frutos recién cosechados a condiciones de baja HR podría ser utilizada como un método de predicción de la vida de postcosecha de arándanos. Además, en futuros estudios sería importante incluir en las evaluaciones el tamaño y profundidad de la cicatriz pedicelar, así como en la composición de las ceras de la cutícula.

6. CONCLUSIONES

Se estableció una correlación inversamente proporcional y lineal con cv 'Duke', entre la pérdida de peso y el tiempo, para frutos del cv. 'Duke', en cada una de las HR estudiadas.

La cicatriz pedicelar resultó ser de mayor importancia en la pérdida de agua del fruto, respecto de las ceras cuticulares, efecto que se hizo más evidente a baja HR (40%) y en la época del peak de cosecha.

La tasa de pérdida de peso varió en función del estado de madurez, acrecentándose en frutos sobremaduros. Sin embargo, el efecto fue más marcado cuando se utilizó baja HR.

7. BIBLIOGRÁFICA

- Banaras, M., Lownds, N. K. y Bosland, P. W. (1994) 'Relationship of physical properties to postharvest water loss in pepper fruits (*Capsicum annuum* L.)', *Pakistan Journal of Botany*, 26, pp. 321-326.
- BANSE, G. 2006. Revista Agrícola especial de arándanos II. Temuco. El Diario Austral. Sociedad Periodística Araucanía S.A. 31 p.
- Bañados, M.P. (2016) Arándanos bajo plástico o mallas: Antecedentes y consideraciones.
- Bañados, M.P., Zoffoli, J.P., Soto, A. and González, J. (2002). Fruit firmness and fruit retention strength in raspberry cultivars in Chile. *Acta Hort.* 585, 489-493.
- Barthlott W, C Neinhuis, D Cutler, F Ditsch, I Meusel, I Theisen, H Wilhelmi (1998) Classification and terminology of plant epicuticular waxes. *Bot. J. Soc.* 126:237-260
- Becker, T. y Knoche, M. (2011). Water Movement through the Surfaces of the Grape Berry and Its Stem', *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(3): 340-350
- Ben-Yehoshua, S. y Rodov, V. (2003) 'Transpiration and water stress', *Postharvest physiology and pathology of vegetables*, pp. 111-159.
- Borlando P. (2012) Comportamiento de las variedades de arándanos plantadas en Chile. *Rev. Frutícola*, N°3, 10-15.
- Cameron, A. C. y Yang, S. F. (1982) 'A Simple Method for the Determination of Resistance to Gas Diffusion in Plant Organs', *Plant Physiology*, 70(1): 21-23
- Campa, A y Ferreira, J. (2017). Comportamiento fenológico de variedades de arándano en las condiciones locales de cultivo. *Tecnología Agroalimentaria*, 18, 9.
- Casado, C. G. y Heredia, A. (1999) 'Structure and dynamics of reconstituted cuticular waxes of grape berry cuticle (*Vitis vinifera* L.)', *Journal of Experimental Botany*, 50(331): 175-182
- Chiabrando, V., Giacalone, G., and Rolle, L. (2009). Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(6): 989-992.
- ChileanBlueberryCommittee (2020) 'Arándanos de Chile, Salud y Nutrición '. Disponible en: <https://comitedearandanos.cl/arandanos-de-chile/> visitado el 07 de junio de 2020.
- Chu, W., Gao, H., Cao, S., Fang, X., Chen, H. y Xiao, S. (2017) 'Composition and morphology of cuticular wax in blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits', *Food Chemistry*, 219: 436-442.

Chu, W., Gao, H., Chen, H., Fang, X. y Zheng, Y. (2018) 'Effects of cuticular wax on the postharvest quality of blueberry fruit', *Food Chemistry*, 239(Supplement C), pp. 68-74.

CIREN-ODEPA (2019) 'Catastro Frutícola Principales Resultado Región del Maule'. Obtenido en: https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/catastro_maule.pdf

Crisosto, C. H., Garner, D., Doyle, J. y Day, K. R. (1993) 'Relationship between Fruit Respiration, Bruising Susceptibility, and Temperature in Sweet Cherries', *HortScience*, 28(2), pp. 132-135.

Defilippi B., Robledo P., y Becerra C. (2013). Cap. 9 manejo de cosecha y poscosecha en arándano. Manual de arándano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Quilamapu. Boletín 263:107-120. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39102.pdf> Consultado 31 de mayo de 2020.

Delippi B., Rivera, S., Arriola, R. (2017) Información Berries. Capítulo 5 "Adaptación de la metodología Cropcheck para el cultivo de arándanos en el sur de Chile. Boletín INIA. 346:6-17

Domínguez E, España L, López-Casado G, Cuartero J, Heredia A. 2009. Biomechanics of isolated tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit cuticles during ripening: the role of flavonoids. *Functional Plant Biology* 36: 613– 620.

Feippe A., Ibáñez F., Fredes A., Varela P y Lado J. (2012). Efecto del estado de desarrollo de arándanos sobre las propiedades físico-químicas. Revista INIA N°30. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Las Brujas y Salto Grande, Chile. 39-42

Figuroa S D., Guerrero C. J. y Bensch T. E. (2010). Efecto de momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la calidad en poscosecha de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.), cvs. Berkeley, Brigitta y Elliott durante la temporada 2005-2006. *Idesia* (Arica), 28:79-84.

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R. y Brecht, J. K. (2002) 'Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review', *Journal of Food Engineering*, 52(2), pp. 99-119.

García R. J. C., García G.G y Ciordia M.A. (2010). Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. Servicio regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Revista Tecnología agroalimentaria 12:5-8.

Godoy C, Monterubbianesi G, Tognetti J, 2008. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Scientia Horticulturae*. 115: 368-376.

Hendrik, B., Kerstin, K., Zdenek, C y Christoph N. (2006) *Evans Review No. 3: Structure–function relationships of the plant cuticle and cuticular waxes — a smart material?.* *Functional Plant Biology* 33, 893-910.

- Jetter, R., Schäffer, S. and Riederer, M. (2000) 'Leaf cuticular waxes are arranged in chemically and mechanically distinct layers: evidence from *Prunus laurocerasus* L. *Plant, Cell and Environment*, 23: 619–628.
- Kader A. (2002) *Postharvest! Technology of Horticultural Crops*. University of California Agriculture and Natural Resources, California. pp.55-62
- Kader, A. A. (1997) 'Fruit maturity, ripening, and quality relationships'. *International Symposium Effect of Pre- & Postharvest factors in Fruit Storage* 485:203-208.
- Kader, A. J. (1992) 'Biología y Tecnología Postcosecha: Una revisión general', Universidad de California, publicación, 3311: 311-325.
- Klavins, L.; Klavins, M. (2020) Cuticular Wax Composition of Wild and Cultivated Northern Berries. *Foods*. 9: 587
- Lara, I., Belge, B. y Goulao, L. F. (2014) 'The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality', *Postharvest Biology and Technology*, 87 :103-112.
- Lepe, J. (27 de mayo de 2020) ODEPA. *Oficina de estudios y políticas agrarias*. Obtenido de <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-mayo-2020>
- Li C, Luo J., MacLean D. (2011). A novel instrument to delineate varietal and harvest effects on blueberry fruit texture during storage. *J Sci Food Agric*. 2011;91(9):1653-1658.
- Lobos, G. A., Bravo, C., Valdés, M., Graell, J., Ayala, I. L., Beaudry, R. M., & Moggia, C. (2018). 'Within-plant variability in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.): maturity at harvest and position within the canopy influence fruit firmness at harvest and postharvest *Postharvest Biology and Technology* 146: 26-35.
- Lobos, G.A., Callow, P., James, F., Hancock. (2014) 'The effect of delaying harvest date on fruit quality and storage of late highbush blueberry cultivars (*Vaccinium corymbosum* L.)', *Postharvest biology and technology*, 87:133-139.
- López, A., (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas Del campo al mercado*. 18/06/2020, de FAO. Disponible en Sitio web: <http://www.fao.org/3/Y4893S/y4893s00.htm#Contents>.
- Mesa, P (2015). Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum* L. x *V. darowii*) plantados en Guasca (Cundinamarca, Colombia) (Trabajo de grado). Universidad Militar Nueva Granada.
- Moggia, C., Beaudry, R. M., Retamales, J. B. and Lobos, G. A. (2017a). Variation in the impact of stem scar and cuticle on water loss in highbush blueberry fruit argue for the use of water permeance as a selection criterion in breeding. *Postharvest Biology and Technology* 132: 88-96.

- Moggia, C., Graell, J., Lara, I., González, G., and Lobos, G. A. (2017b). Firmness at harvest impacts postharvest fruit softening and internal browning development in mechanically damaged and non-damaged highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 8:535.
- Moggia, C., Graell, J., Lara, I., Schmeda-Hirschmann, G., Thomas-Valdés, S., Lobos, G.A. (2016). "Fruit Characteristics and Cuticle Triterpenes as Related to Postharvest Quality of Highbush Blueberries". *Scientia Horticulturae*, 211, 449-457
- Moggia, Lobos y Retamales. (2012). Beneficios del uso de atmósfera modificada para almacenaje prolongado de arándanos. *Rev. Frutícola*, N°3, 37-42
- Nobel, P. S. (2009) 'Chapter 1 - Cells and Diffusion', *Physicochemical and Environmental Plant Physiology* (Fourth Edition). San Diego: Academic Press, pp. 2-43.
- Paniagua, A. C., East, A. R. y Heyes, J. A. (2014). 'Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere conditions during blueberry storage on quality outcomes', *Postharvest Biology and Technology*, 95: 50-59.
- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2010). Ripening of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Part II: Regulation by its stem scar region. *Journal of food science and technology*, 47(5): 527–533.
- Reina JJ, Domínguez E, Heredia A. 2001. Water sorption-desorption in conifer cuticles: the role of lignin. *Physiologia Plantarum* 112: 372– 378.
- Retamales, J. B., & Hancock, J. F. (2012). Blueberries, Cabi N°: 21.
- Retamales, J. B., and Hancock J. F. (2012). Blueberries. *Crop Production Science in Horticulture series*, 21. CABI. Cambridge. Chapter 2: Blueberry taxonomy and breeding p 39-40 and Chapter 3: Growth and development 58-62.
- Retamales, J. B., Palma, M. J., Morales, Y. A., Lobos, G. A., Moggia, C. E. y Mena, C. A. (2014). 'Blueberry production in Chile: current status and future developments', *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36: 58-67.
- Rodríguez Beraud, Mario Marcelo, & Morales Ulloa, Daniza Minerva. (2015). Shading nets effect on the production and quality of blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Scientia Agropecuaria*, 6(1):41-50
- Rodríguez, M., Valdés, A., Hormazábal, N. (2015) Evaluation of modified atmosphere bag and sulphur dioxide concentrations applied on highbush blueberries fruit (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald. *Scientia Agropecuaria*. 6(4):259-270.

Schönherr, J. (1976) 'Water permeability of isolated cuticular membranes: the effect of cuticular waxes on diffusion of water', *Planta*, 131(2), pp. 159-164. Vargas, W. (1984). *Tecnología del Manejo de Postcosecha de Frutas y Hortalizas*. Colombia: Instituto interamericano de la cooperación para la agricultura.

Segado P., Domínguez E., Heredia A. (2017). Ultrastructure of the epidermal cell wall and cuticle of tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) during development. *Plant Physiol.* 170: 935–946.

Shepherd, T., Griffiths, D. (2006) The effects of stress on plant cuticular waxes. *The New phytologist*. 171: 99 – 469

Syvertsen, J. P., Goñi, C., and Otero, A. (2003). Fruit load and canopy shading affect leaf characteristics and net gas exchange of “Spring” navel orange trees. *Tree Physiol.* 23:899–906.

Tafolla-Arellano, Julio C., González-León, Alberto, Tiznado-Hernández, Martín E., Zacarías García, Lorenzo, & Báez-Sañudo, Reginaldo. (2013). Composition, physiology and biosynthesis of plant cuticle. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(1):3-12

Tamada, T. (2002). Stages of Rabbiteye and Highbush Blueberry Fruit Development and the Associated Changes in Mineral Elements. *Acta Hortic.* 574, 129-137.

Valdés, S. (2019). Participación de las distintas estructuras del fruto de arándano en la pérdida de agua (Memoria de título Magister) Universidad de Talca.

Whitelock, D. P., Brusewitz, G. H., Smith, M. W. y Zhang, X. (1994) 'Humidity and Airflow during Storage Affect Peach Quality', *HortScience*, 29(7), pp. 798-801.

Yeats, T. H. y Rose, J. (2013) 'The formation and function of plant cuticles', *Plant Physiol.* 163: 5-20.