



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

**PARTICIPACIÓN DE LAS DISTINTAS ESTRUCTURAS DEL FRUTO DE ARÁNDANO EN LA
PÉRDIDA DE AGUA**

TESIS DE GRADO

SEBASTIÁN ARTURO VALDÉS BARRAZA

TALCA – CHILE

2020

**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**PARTICIPACIÓN DE LAS DISTINTAS ESTRUCTURAS DEL FRUTO DE ARÁNDANO EN LA
PÉRDIDA DE AGUA**

POR

SEBASTIÁN ARTURO VALDÉS BARRAZA

TESIS DE GRADO

**Presentada a la
Universidad de Talca como
parte de los requisitos para optar al título de**

MAGISTER EN HORTICULTURA

TALCA-CHILE

2020

APROBACIÓN:

Profesor Co-Guía

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

Profesor Escuela de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad de Talca

Profesor Co-Guía

Ing. Agr., Dr. Gustavo Lobos Prats

Profesor Escuela de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad de Talca

RESUMEN

El cultivo de arándano es de suma importancia a nivel nacional, lo que se ve reflejado en el vertiginoso crecimiento de la superficie plantada, llegando a alrededor de 15.800 ha plantadas a nivel nacional. En la temporada 2018/19, se exportaron alrededor de 110.000 t, destinadas principalmente a Estados Unidos (58 %), seguido por Europa (29 %) y el Lejano Oriente (12 %). De lo exportado el año 2018, alrededor del 74 % fue destinado para consumo fresco y el resto corresponde principalmente a fruta congelada. La fruta se transporta principalmente vía marítima, y puede tardar cerca de 3 semanas en llegar al hemisferio norte, dependiendo del mercado de destino. Esto implica que la fruta puede demorar entre 20 a 50 días, desde la cosecha al consumidor final. Durante el almacenaje y transporte de la fruta, se deben mantener sus características de calidad, siendo una de las más importantes la firmeza. En los arándanos, la pérdida de firmeza en postcosecha se encuentra asociada con la pérdida de peso o, en otras palabras, con pérdida de agua desde el fruto. Para el presente estudio, se seleccionaron arándanos recién cosechados con una firmeza igual o superior a 150 g mm⁻¹, de los cultivares 'Duke', 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee', que fueron sometidos a tratamientos consistentes en diferentes formas de sellado del fruto: Tratamiento control (fruto sin pintar); **T1**: fruto pintado completamente; **T2**: sólo cicatriz pedicelar pintada; **T3**: sólo cicatriz calicinal pintada; **T4**: cicatriz pedicelar y calicinal pintadas; **T5**: fruto pintado y sólo cicatriz pedicelar sin pintar; **T6**: fruto pintado y sólo cicatriz calicinal sin pintar; **T7**: fruto sin ceras (remoción con hexano). Los frutos se sometieron a almacenaje refrigerado (1,2°C) por 10 días, bajo cuatro condiciones de humedad relativa (HR; entre 30 y 97 %), generadas mediante distintas concentraciones de glicerol en agua (100, 75, 50 y 0 % v/v). Durante dicho periodo, diariamente se les midió peso individual y, al término, además firmeza final. Con ésta información se cuantificó, para cada uno de los cultivares, la influencia de la HR en la pérdida de agua y firmeza final de los frutos, con diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para las distintas condiciones de HR, donde la pérdida de agua fue menor y la firmeza final fue mayor en la medida que aumentó la HR en almacenaje; así, la mejor condición para almacenar la fruta fue sobre 95 % de HR. También se pudo determinar la importancia de las distintas barreras naturales del fruto para cada uno de los cuatro cultivares evaluados, al calcular el cociente entre la pendiente de la pérdida de agua del tratamiento control y la de cada tratamiento. Así, sellar la cicatriz pedicelar resultó ser más importante en 'Legacy', reduciendo la pérdida de agua en 46 % seguido por 'Ochlockonee' (33 %) y 'Brigitta' (27 %) y en menor grado en 'Duke' con sólo un 16 % de reducción. La cicatriz calicinal no generó cambios significativos en la pérdida de agua y firmeza final de la fruta. Los resultados indican que la epidermis, fue una barrera de mayor importancia en los cultivares 'Duke' y 'Ochlockonee', mientras que las ceras resultaron ser más importantes en 'Brigitta' ya que al removerlas la pérdida de agua aumentó en un 54 % y la firmeza final se redujo en 24 %.

Palabras clave: arándano, pérdida de agua, firmeza, estructuras del fruto, postcosecha.

ABSTRACT

Blueberry cultivation is of great importance in Chile, which is reflected by the vertiginous growth of the planted area, currently reaching around 15,800 hectares. During the 2018/19 season, around 110,000 tons were exported, mainly to the United States (58 %), followed by Europe (29 %) and the Far East (12 %). Of the total amount exported in 2018, around 74 % was destined for fresh consumption and the rest corresponds mainly to frozen fruit. Fresh fruit is sent mainly by sea, and it can take about 3 weeks to reach the northern hemisphere, depending on the destination market. This implies that the fruit can take between 20 to 50 days, from the harvest to the final consumer. Fruit quality characteristics must be maintained during storage and transportation of the fruit; being firmness one of the most important. The loss of firmness during postharvest is associated with the weight loss or, in other words, with water loss from the fruit. For the present study, blueberry fruit with a firmness equal to or greater than 150 g mm⁻¹ were selected from cultivars 'Duke', 'Brigitta', 'Legacy' and 'Ochlockonee'. The treatments considered were: Control treatment (unpainted fruit); T1: completely painted fruit; T2: only pedicel scar was painted; T3: only calyx scar was painted; T4: pedicel and calyx scars were painted; T5: completely painted fruit and only pedicel scar unpainted; T6: completely painted fruit and only calyx scar unpainted; T7: fruit without waxes (removed with hexane). Fruit were subjected to refrigerated storage (1,2 °C) for 10 days, under four relative humidity conditions (RH ~30-97 %), given by different concentrations of glycerol in water (100, 75, 50 and 0 % v / v). During this period, individual fruit weight was measured daily and, at the end of the storage period final firmness was also assessed. The influence of RH on water loss and firmness loss was determined for each cultivar, results showing highly significant differences ($p < 0,01$); water loss was lower and final firmness higher with increasing RH, being > 95 % RH the best condition to store the fruit. It was also possible to determine the importance of the different natural barriers of the fruit for each cultivar, by calculating the ratio between the slope of water loss of the control treatment and the slope of water loss of each treatment. Therefore, sealing the pedicel scar was more important for 'Legacy', reducing the loss of water in 46 %; to a lesser extent in 'Ochlockonee' (33 %) and 'Brigitta' (27 %); and only 16 % in 'Duke'. The calyx scar did not generate significant changes in water loss or final firmness of any cultivar. The skin was a barrier of greater importance for 'Duke' and 'Ochlockonee', while the waxes were an important barrier in 'Brigitta' since removing them increased water loss by 54 % and reduced final firmness by 24 %.

Key words: blueberry, water loss, firmness, fruit structures, postharvest.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.	Componentes de calidad de la fruta y su importancia en postcosecha	3
2.1.1.	Pérdida de peso y firmeza de la fruta de arándano en postcosecha.....	3
2.2.	Efecto de la humedad relativa y temperatura en la pérdida de peso en postcosecha	4
2.3.	Movimiento del agua a través del fruto	5
2.3.1.	Cutícula.....	5
2.3.2.	Composición de ceras cuticulares y su relación como barrera a la pérdida de agua	6
2.3.3.	Cicatriz pedicelar	8
2.3.4.	Cicatriz calicinal	8
2.3.5.	Otras aberturas naturales (lenticelas y estomas)	9
2.4.	Respiración, etileno y vida postcosecha de la fruta.....	9
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1.	Material vegetal y selección de fruta.....	11
3.2.	Diseño experimental y tratamientos	11
3.3.	Evaluaciones	13
3.3.1.	Madurez inicial de la fruta	13
3.3.2.	Pérdida de peso.....	14
3.3.3.	Firmeza	14
3.3.4.	Temperatura y humedad relativa	15
3.3.5.	Permeabilidad aparente al agua	15
3.3.6.	Respiración	15
3.3.7.	Análisis de datos.....	16
4.	RESULTADOS	17
4.1.	Caracterización de los frutos utilizados de los cuatro cultivares de arándano	17
4.2.	Comportamiento del tratamiento control de cuatro cultivares de arándano en postcosecha	17
4.3.	Participación de las estructuras del fruto de arándano en la pérdida de peso	21
4.4.	Participación de las estructuras del fruto de arándano en la firmeza final	26
5.	DISCUSIÓN	30
5.1.	Comportamiento del tratamiento control de cuatro cultivares de arándano en postcosecha	30
5.2.	Importancia de las estructuras del fruto de arándano en la pérdida de agua	31
5.3.	Participación de las estructuras del fruto de arándano en la firmeza final	33
6.	CONCLUSIONES	35
7.	ANEXOS	36
8.	BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1. Peso, firmeza, diámetro ecuatorial, diámetro polar, relación superficie / volumen, relación superficie / peso y relación sólidos solubles / acidez titulable de arándanos cvs. 'Duke' 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee'.....	17
Cuadro 4.2. Porcentaje de pérdida de peso (PP), permeabilidad aparente al agua (PH_2O), pendiente de la pérdida de agua (PPA), firmeza final (FF) y porcentaje de pérdida de firmeza (PF) del tratamiento control, de frutos de arándano de los cvs. 'Duke' 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee' almacenados por 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa.	19
Cuadro 4.3. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos (azul: tejido intacto, rojo: pintado con esmalte, transparente: sin " <i>bloom</i> "), sobre el cambio porcentual de la pendiente de la pérdida de agua (PPA) respecto del tratamiento control , de frutos de arándano de los cvs. 'Duke' 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee' almacenados por 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C bajo distintas condiciones de HR. .	23
Cuadro 4.4. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos (Tt), sobre el cambio porcentual de la firmeza final (FF), respecto del tratamiento control, de frutos de arándano almacenados por 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.3-A. Representación esquemática de estructuras de cutícula vegetal. Adaptado de Yeats y Rose (2013).....	6
Figura 3.1-A. Representación esquemática y terminología utilizada en fruto de arándano.	11
Figura 3.2-A. Representación esquemática de los tratamientos aplicados en cuatro cultivares de arándano, donde; Control: tratamiento control (fruto sin pintar); T1: fruto pintado completamente; T2: sólo cicatriz pedicelar pintada; T3: sólo cicatriz calicinal pintada; T4: cicatriz pedicelar y calicinal pintadas; T5: fruto pintado y sólo cicatriz pedicelar sin pintar; T6: fruto pintado y sólo cicatriz calicinal sin pintar; T7: fruto sin ceras.....	12
Figura 3.2-B. 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 mueve a través de un tubo (2) hacia el interior del contenedor con fruta (a).	13
Figura 4.2-A. Correlación entre pérdida de peso (%) y firmeza final (g mm ⁻¹), para el tratamiento control de los cultivares, 'Duke', 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee', después de 10 d de almacenaje a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	20
Figura 4.2-B. Correlación entre pérdida de peso (%) y pérdida de firmeza (%), para el tratamiento control de los cultivares, 'Duke', 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee', después de 10 d de almacenaje a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	20
Figura 4.3-A. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados (Control, T2, T3, T4 y T7), sobre la pendiente de pérdida de agua (PPA) de frutos de arándano del cultivar 'Duke', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	24
Figura 4.3-B. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados (Control, T2, T3, T4 y T7), sobre la pendiente de pérdida de agua (PPA) de frutos de arándano del cultivar 'Brigitta', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	24
Figura 4.3-C. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados (Control, T2, T3, T4 y T7), sobre la pendiente de pérdida de agua (PPA) de frutos de arándano del cultivar 'Legacy', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	25
Figura 4.3-D. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados (Control, T2, T3, T4 y T7), sobre la pendiente de pérdida de agua (PPA) de frutos de arándano del cultivar 'Ochlockonee', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	25
Figura 4.4-A. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados, sobre la firmeza final (g mm ⁻¹) de frutos de arándano del cultivar 'Duke', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	28
Figura 4.4-B. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados, sobre la firmeza final (g mm ⁻¹) de frutos de arándano del cultivar 'Brigitta', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	28
Figura 4.4-C. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados, sobre la firmeza final (g mm ⁻¹) de frutos de arándano del cultivar 'Legacy', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	29
Figura 4.4-D. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados, sobre la firmeza final (g mm ⁻¹) de frutos de arándano del cultivar 'Ochlockonee', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).	29

1. INTRODUCCIÓN

Desde que el arándano fuese introducido en Chile de forma experimental desde Estados Unidos (EE.UU.) a fines de los 1970s, la industria chilena de arándanos se ha expandido a un ritmo acelerado (Retamales et al., 2014). Actualmente, se estiman alrededor de 15.800 ha, destacándose la región del Maule, con una participación en la superficie nacional del 30 % (CIREN-ODEPA, 2016). Parte importante de este crecimiento está dado por la exportación de arándanos hacia el hemisferio norte, en contra estación (Beaudry et al., 1998).

En la temporada 2018/19, se exportaron alrededor de 110.000 toneladas, destinadas principalmente a EE.UU. (58 %), Europa (29 %) y Lejano Oriente (12 %) (ChileanBlueberryCommittee, 2019). De lo exportado el año 2018, alrededor del 74 % fue destinado para consumo fresco y el resto corresponde, principalmente a fruta congelada (Muñoz, 2019). El transporte de la fruta es por aire o mar, destacándose el envío marítimo por su menor costo (Beaudry et al., 1998); alrededor del 95 % de la fruta es enviada vía barco, lo que representa periodos de tiempo entre 20 a 50 d, desde la cosecha al consumidor final (Moggia et al., 2016). Debido a la gran importancia de las exportaciones de arándano, es necesario mantener las condiciones de calidad de la fruta que el consumidor final demanda (Chiabrando et al., 2006). Esta calidad es determinada, principalmente, según la apariencia y firmeza al tacto (grado de suavidad), mientras que, al momento de consumirla, también se consideran el sabor (sólidos solubles y acidez titulable) y la textura (crocancia) (Kader, 1997).

El fruto de arándano es altamente perecible y puede presentar distintos tipos de deterioro en postcosecha, tales como desórdenes fisiológicos, daño físico/mecánico, ablandamiento, pérdida de agua, influyendo negativamente en la percepción sensorial (Forney, 2009). Para el mercado de fruta fresca, la firmeza es una de las características más importantes, la que está relacionada con el estado de madurez y la variedad (Lobos et al., 2018), y está íntimamente ligada a la pérdida de peso durante el almacenaje y transporte (Paniagua et al., 2013). Sanford et al. (1991), determinaron que la pérdida de peso máxima aceptable en frutos de arándano arbusto bajo (*Vaccinium angustifolium* Ait) son del 5,3 a 7,6 %. Sin embargo, en frutos de *V. corymbosum* varía entre 1,5 a 2,0 % (Nunes y Emond, 2007).

Existen diversos estudios que señalan cambios en los componentes de calidad de la fruta, bajo distintas condiciones de almacenaje. Así, por ejemplo, a mayor tiempo de guarda, mayor es la pérdida de peso (Lang y Tao, 1992; Nunes et al., 2004; Duarte et al., 2009; Chiabrando et al., 2009; Paniagua et al., 2014) y pérdida de firmeza (Nunes et al., 2004; Chiabrando et al., 2009; Paniagua et al., 2013). Además, al aumentar la temperatura de almacenaje sobre los 10 °C, se incrementa la pérdida de peso y ablandamiento de la fruta (Sanford et al., 1991; Nunes et al.,

2004; Nunez-Barrios et al., 2005; Paniagua et al., 2014; Moggia et al., 2017), al igual que la tasa de respiración (Beaudry et al., 1992; Cameron et al., 1994; Nunez-Barrios et al., 2005).

También, se ha estudiado el efecto en la utilización de revestimientos (coatings) comestibles, los que, al formar una barrera física para la pérdida de agua, reducen la pérdida de peso de forma significativa y, por ende, disminuirían el ablandamiento (Chiabrando y Giacalone, 2015; Abugoch et al., 2016).

A pesar de la importancia que representa la rápida perecibilidad de los arándanos para el sector exportador, pocos estudios se han realizado para conocer la influencia de las características físicas o morfológicas del fruto y su relación con la vida de postcosecha. Por ejemplo, se ha reportado que la pérdida de peso de la fruta, es influenciada por la composición de la cutícula del arándano (Moggia et al., 2016) y por el tamaño de la cicatriz pedicelar (Moggia et al., 2017). También, se ha registrado que al extraer las ceras de los frutos de arándano, la pérdida de peso aumenta alrededor de un 50 % (Chu et al., 2018). Adicionalmente, se ha descrito que las características de dicha cicatriz tienen directa relación con la susceptibilidad al ataque de patógenos (Cappellini y Ceponis, 1977).

De acuerdo a estos antecedentes, se hipotetiza que dentro de las distintas estructuras externas, la cicatriz pedicelar es la que más contribuye en la pérdida de peso y ablandamiento de la fruta de arándano, independiente del cultivar y condición de humedad relativa a la que se encuentre expuesta. Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación fue determinar la participación de las distintas estructuras externas de la fruta en la pérdida de peso y firmeza de cuatro cultivares de arándano, bajo distintas condiciones de humedad relativa. Para esto, en cuatro cultivares se propuso: (1) cuantificar la pérdida de peso y pérdida de firmeza generada por la cicatriz pedicelar, cicatriz calicinal y capa cerosa, en función del cultivar; (2) determinar el comportamiento de la pendiente de la pérdida de agua bajo distintas condiciones de humedad relativa para cada cultivar; y (3) determinar relación entre la firmeza y pérdida de peso de la fruta de los cuatro cultivares de arándano evaluados.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Componentes de calidad de la fruta y su importancia en postcosecha

La calidad de la fruta fresca corresponde a una combinación de atributos, propiedades o características, que adquieren valor, dependiendo de la importancia por parte de los consumidores (Kader, 1997). Éstos exigen frutos de alta calidad, para lo que se requiere una adecuada cadena precosecha-cosecha-postcosecha que permita minimizar al máximo la pérdida de dichos atributos, desde la cosecha en huerto hasta el consumidor final (Chiabrando et al., 2006). Al momento de comprar, los consumidores de fruta fresca consideran, la apariencia y firmeza al tacto (grado de suavidad), una vez adquirido el producto también juzgan por su calidad de sabor (sólidos solubles y acidez titulable), crocancia (textura) y contenido nutricional por sus compuestos funcionales (Kader, 1997). Los distintos parámetros de calidad tales como peso de baya, materia seca, firmeza, contenido de sólidos solubles, acidez titulable, relación azúcar/ácidos y pH son dependientes del cultivar, del manejo agronómico pre/postcosecha y de las condiciones medioambientales de la temporada (Remberg et al., 2006).

2.1.1. Pérdida de peso y firmeza de la fruta de arándano en postcosecha

La firmeza es un atributo de calidad importante en frutos de arándano, siendo el ablandamiento uno de los aspectos principales que reducen la calidad y limitan su comercialización para el consumo fresco (NeSmith et al., 2002; Angeletti et al., 2010). La firmeza, a menudo se mide con instrumentos objetivos, pero también puede ser medida de forma subjetiva utilizando los dedos para determinar rápidamente diferencias en firmeza (Mitcham et al., 1996). De esta forma, los frutos se ruedan individualmente entre los dedos índice y pulgar y se clasifican por su firmeza a través de una escala de apreciación (Sanford et al., 1991; Nunes et al., 2004). Uno de los instrumentos utilizados para medir objetivamente este atributo de calidad en arándanos, es el equipo FirmTech (NeSmith et al., 2002; Ehlenfeldt y Martin, 2002; Nunez-Barrios et al., 2005; Moggia et al., 2016), el cual registra la respuesta de la baya a la fuerza de compresión (g mm^{-1}).

En la planta, el arándano se ablanda durante el proceso de maduración, cambio que está asociado al cambio de color/tonalidad de la baya. Se ha observado que la reducción de firmeza de la fruta de *V. corymbosum*, inicia desde el cambio de color verde a 25 % azul (Vicente et al., 2007). Pero el mayor ablandamiento se registra, cuando la fruta cambia de color rojo a rojo azulado (Proctor y Miesle, 1991). La reducción de firmeza en la planta se debe, posiblemente, a una disminución en el contenido de pectinas que componen la lamela media (Proctor y Peng, 1989; Vicente et al., 2007), atribuida a la acción de las enzimas pectinmetilesterasa (PME) y

poligaracturonasa (PG) (Proctor y Miesle, 1991). Otras enzimas reportadas en la degradación de la pared celular son celulasas, β -galactosidasa y α -manosidasa (Chen et al., 2015).

Dado lo anterior, el ablandamiento de la fruta en postcosecha podría estar asociado a un aumento en el contenido de las pectinas solubles en agua, más una disminución en los niveles de pectinas solubles en carbonato de sodio, hemicelulosa y celulosa (Chen et al., 2015). También, se relaciona con la pérdida de peso de la fruta (Paniagua et al., 2013). Además, la pérdida de firmeza ha sido correlacionada con la producción de etileno ($r = 0,94$) y la tasa de respiración ($r = 0,81$) a cosecha en los cvs. 'Duke' y 'Brigitta' (Moggia et al., 2016).

Para aumentar la vida de postcosecha de la fruta se debe limitar la pérdida de peso (Lownds et al., 1994). Paniagua et al. (2013) establecieron que la pérdida de peso o agua en almacenaje, tendría un efecto causal sobre el cambio de firmeza en frutos de *V. ashei*, con un alto coeficiente de correlación de 0,87. Además, observaron un aumento en la firmeza de la fruta cuando ésta presentaba bajos porcentajes de pérdida de peso (0,22 – 1,34 %), en cambio un ablandamiento de la fruta ocurría simultáneamente con altos niveles de pérdida de peso (3,47 – 15,06 %). Asimismo, la fruta presentó agrietamientos con porcentajes de pérdida de peso iguales o mayores a 8,7 % y no con pérdidas de peso iguales o menores a 6,9 % (Paniagua et al., 2013). Se ha determinado que la pérdida de peso máxima aceptable (antes que los frutos presenten síntomas como: ablandamiento, deshidratación, cambio de color y pérdida de cera ("*bloom*")) en frutos de *V. angustifolium* son del 5,3 a 7,6 % (Sanford et al., 1991), mientras que, en frutos de *V. corymbosum* varía entre 1,5 a 2,0 % (Nunes y Emond, 2007). Además, Yang et al. (2009) observaron que un 10 % de pérdida de humedad de la fruta reduciría la firmeza y los cultivares de cosecha temprana tales como, 'Duke' y 'Draper', tienden a tener mayores niveles de firmeza que los cultivares de cosecha tardía, como, 'Elliott' y 'Aurora', durante almacenaje.

2.2. Efecto de la humedad relativa y temperatura en la pérdida de peso en postcosecha

La vida postcosecha de la fruta, es afectada por las condiciones de almacenaje dadas por la HR y la temperatura (T), siendo esta última condición la que mayor influencia tiene sobre la tasa de respiración de la fruta (Biale et al., 1954; Biale, 1961; Burzo, 1980; Hagger et al., 1992; Crisosto et al., 1993; Fonseca et al., 2002; Saltveit, 2016).

Pequeñas diferencias en la HR y la T causan variaciones en el déficit de presión de vapor (DPV) y, en consecuencia, se modifican las tasas de pérdida de peso de los frutos (Ben-Yehoshua y Rodov, 2003). La pérdida de peso está directamente relacionada con el DPV, por lo que a menor DPV, la pérdida de peso también disminuye (Whitelock et al., 1994).

Se puede destacar que en la mayoría de los estudios en donde se evalúa el tiempo de almacenaje y el efecto de la T, se observan incrementos de las pérdidas de peso (%) y pérdida de firmeza del fruto en el tiempo, y lo mismo que ocurre cuando se aumenta la T (Sanford et al., 1991; Lang y Tao, 1992; Nunes et al., 2004; Nunez-Barrios et al., 2005; Chiabrando et al., 2006; Chiabrando et al., 2009; Duarte et al., 2009; Paniagua et al., 2014; Concha-Meyer et al., 2015; Moggia et al., 2016). A pesar de la importancia del DPV en el ambiente, son muy pocos los trabajos que abordan la temática en función de determinar su efecto en la pérdida de peso de frutos de arándano. No obstante lo anterior, esta relación ha sido reportada en otras especies como en duraznos (Whitelock et al., 1994), tomates (Bouzo y Gariglio, 2016) y manzana (*Malus sylvestris* subsp. *mitis* Wallr.); a modo de ejemplo, en frutos de manzano, existe un aumento de alrededor de un 30 % en la pérdida de agua, cuando la HR disminuye de 97,5 a 95% (Veraverbeke et al., 2003). En frutos de tomate, la pérdida de peso disminuye en un 50 % aproximadamente, al aumentar la HR de 52 a 85 % (Shirazi y Cameron, 1993).

Para evitar la pérdida de agua en la fruta, el potencial hídrico del ambiente debe estar lo más cerca posible al de la fruta. Dado que la mayoría de los productos hortícolas frescos contienen entre 85 a 95 % de agua (Ben-Yehoshua y Rodov, 2003), se considera que, las mejores condiciones para almacenar arándanos son a una temperatura de 0 °C y una HR de 95 % (Forney, 2009).

2.3. Movimiento del agua a través del fruto

2.3.1. Cutícula

La membrana plasmática es una barrera importante para la difusión de solutos dentro y fuera de las células vegetales, en la que los gases penetran fácilmente (Nobel, 2009). A su vez, las células de la epidermis se encuentran rodeadas por una capa lipídica denominada cutícula (Jetter et al., 2006; Samuels et al., 2008; Kunst y Samuels, 2009; Buschhaus y Jetter, 2011; Domínguez et al., 2011a y b; Yeats y Rose, 2013). La cutícula está compuesta por una matriz de cutina (polímero de poliésteres insolubles, formados principalmente por ácidos grasos C16 y C18), embebida en un complejo de ceras intra- y epi-cuticulares, y una fracción menor de compuestos fenólicos (Fig. 2.3-A) (Jetter et al., 2000).

En los frutos, la cutícula cumple funciones como, restringir la infección de patógenos, proteger contra la radiación ultravioleta, proveer soporte mecánico, superficie auto limpiante y limitar el ingreso y pérdida de agua (Bargel et al., 2006; Martin y Rose, 2014; Lara et al., 2014). La pérdida de agua en postcosecha es el resultado de la respiración y de la difusión a través de la cutícula

de la fruta y otras estructuras en contacto con la atmósfera como la cicatriz calicinal (Lara et al., 2014).

La cutícula es la barrera principal al movimiento de agua (Figura 2.3-A), la que generalmente es más permeable en frutos que en hojas (Becker et al., 1986). Además, se ha registrado que el flujo de agua, a través de la membrana cuticular es igual en ambas direcciones, por lo que, la permeabilidad al agua de la epidermis es simétrica (Schönherr, 1976b; Beyer y Knoche, 2002; Beyer et al., 2005; Becker y Knoche, 2011).

En arándanos la permeabilidad cuticular, se encuentra inversamente correlacionada con el diámetro, área y peso de la fruta, siendo la cutícula la porción más importante en la ruta de la pérdida de agua a 20 °C, mientras que, la cicatriz pedicelar aumenta su importancia en la pérdida de agua a medida que desciende la temperatura la temperatura de almacenaje (Moggia et al., 2017).

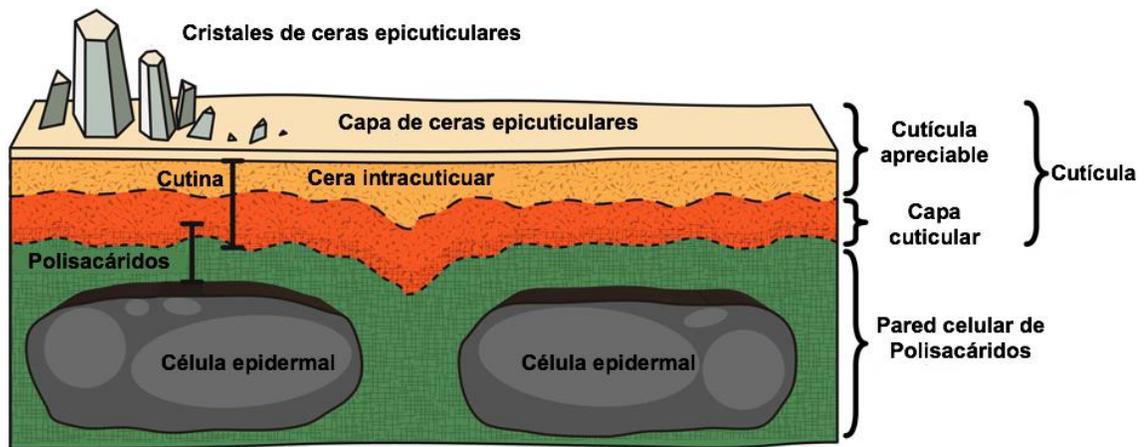


Figura 2.3-A. Representación esquemática de estructuras de cutícula vegetal. Adaptado de Yeats y Rose (2013).

2.3.2. Composición de ceras cuticulares y su relación como barrera a la pérdida de agua

Las ceras cuticulares se componen de una mezcla de compuestos alifáticos (n-alcanos, ácidos alcanoicos, alcanoles, aldehídos, y alquil ésteres), y no-alifáticos (triterpenoides y derivados de esteroles) (Kunst y Samuels, 2009).

La composición de las ceras, son un factor fundamental en la resistencia a la pérdida de agua. Así, Riederer y Schneider (1990), proponen un modelo para el movimiento de agua a través de las ceras de la cutícula: los agregados de los constituyentes de las ceras forman fracciones cristalinas y amorfas (Figura 2.3-A), siendo las zonas cristalinas impermeables al agua, por lo que

el agua se movería con mayor facilidad por las zonas amorfas de las ceras. Esta última zona consta de una cadena de polímeros de la cutina. La capacidad de las moléculas para formar sólidos cristalinos fuertemente empaquetados depende únicamente de la presencia de cadenas de hidrocarburos alifáticos (Riederer y Schneider, 1990). Mientras que, la fracción amorfa estaría formada por la agrupación de los ácidos triterpenoides (Casado y Heredia, 1999).

Las ceras de la cutícula se encuentran negativamente correlacionadas con la pérdida de agua en la fruta (Banaras et al., 1994), representando un 97,9 % de la resistencia al movimiento de agua, mientras que la cutina el 2,1 % (Knoche et al., 2000). Así, al extraer las ceras, la permeabilidad al agua puede aumentar entre 300 a 500 veces (Schönherr, 1976a) y, en frutos de manzanos recién cosechados y almacenados a 4 °C, la tasa de transpiración puede aumentar entre un 25 y 30 % (Pieniazek, 1944). En frutos de cerezo la tasa de transpiración puede aumentar hasta 48,6 veces (Knoche et al., 2000), sin embargo, la absorción de agua sólo aumenta en 2,2 veces más al extraer las ceras (Beyer et al., 2005).

La composición de las ceras de otros frutos como manzanas (Belding et al., 1998), cerezas (Peschel et al., 2007), pimentón (Kissinger et al., 2005; Parsons et al., 2012; Parsons et al., 2013), tomate (Vogg et al., 2004; Bauer et al., 2004) y uva (Radler y Horn, 1965; Casado y Heredia, 1999), son similares.

En promedio, los frutos de *V. corymbosum* y *V. ashei*, están cubiertos por una capa de cera de 89 $\mu\text{g cm}^{-2}$, compuesta por triterpenoides (64,2%), β -dicetonas (16,4 %), aldehídos (4,3 %), alcoholes primarios (3,2 %), ácidos grasos (2,8 %), alcanos (1,3 %) y un 7,8 % de compuestos no identificados (Chu et al., 2017).

Los triterpenoides, son el mayor componente de las ceras de frutos de arándano, siendo el ácido ursólico el componente más abundante en *V. corymbosum* del sur, como 'Misty', 'O'Neal' y 'Sharpblue', también en *V. ashei* 'Brightwell', 'Premier' y 'Powderblue'. Por su parte, el ácido oleanólico predomina en *V. corymbosum* del norte, tales como 'Legacy', 'Darrow' y 'Brigitta' (Chu et al., 2017). También se han reportado diferencias entre los cultivares de *V. corymbosum* del sur ('Brigitta' y 'Duke'), en donde el principal componente entre los triterpenoides es el lupeol, siendo mayores en 'Duke' que en 'Brigitta' (Moggia et al., 2016). Respecto, al ácido oleanólico en el cv. 'Brigitta', es dos veces superior al del cv. 'Duke' y, por el contrario, el contenido de ácido ursólico en 'Duke' es 2 a 7 veces más alto que en 'Brigitta' (Moggia et al., 2016). En relación, a los otros componentes de las ceras cuticulares de los frutos de arándano, se incluyen las β -dicetonas, encontrándose, compuestos de hentriacontano-10,12-dieno (C_{31}) y tritriacontano-12,14-dieno (C_{33}), dentro del grupo de aldehídos, alcoholes primarios y ácidos grasos, predominan

compuestos de C₃₀, mientras que, en el grupo alcanos, predominan los compuestos de C₂₉ (Chu et al., 2017).

Respecto a la relación de estos componentes con la pérdida de peso de la fruta, en arándanos se ha registrado una relación directa entre el contenido de ácido ursólico y el porcentaje de pérdida de peso ($r = 0,96$, $p \leq 0,05$) (Moggia et al., 2016). Cabe destacar que la cantidad de cera y componentes no alifáticos, no tuvieron efecto en la reducción de pérdida de agua, a diferencia, de la fracción de compuestos alifáticos, que actuaría como barrera en la pérdida de agua (Grncarevic y Radler, 1967; Vogg et al., 2004; Parsons et al., 2012; Parsons et al., 2013).

2.3.3. Cicatriz pedicelar

Las pérdidas de agua por la cicatriz pedicelar también son importantes; en el caso de tomates la piel presenta una resistencia a la difusión de gases de aproximadamente 1.000 veces más que la cicatriz pedicelar, aportando esta última en un 97 % de la difusión total, independiente de la cantidad de ceras (Cameron y Yang, 1982). Por otra parte al sellar el pedicelo de frutos de uva, la tasa de transpiración disminuyó sólo en un 16 %, sugiriéndose que la transpiración en este caso estaría limitada, principalmente por la superficie de la baya (Becker y Knoche, 2011). Cabe destacar que la madurez en uvas es bastante más homogénea, por lo que en las cosechas de arándanos, cada fruto presenta diferentes estados de lignificación de la cicatriz pedicelar

Pero no sólo es importante el estado de cicatrización, sino que también el tamaño o volumen de la herida que queda al desprenderse el fruto del pedicelo. En arándanos se ha reportado que el área de la cicatriz pedicelar puede constituir entre un 0,19 a 0,74 % de la superficie del fruto, sin embargo, la pérdida de agua por esta vía puede llegar a representar entre un 39 a 67 % del peso del fruto, siendo menor en los genotipos que presentan una cicatriz pedicelar más pequeña (Moggia et al., 2017).

2.3.4. Cicatriz calicinal

El efecto de la cicatriz calicinal ha sido estudiado en frutos de berenjena (*Solanum melongena* L. cv. 'Classic'), donde a través de esta estructura la tasa de transpiración de 18 veces mayor que la de la piel, lo que está estrechamente relacionado con la proporción de área del cáliz (Díaz-Pérez, 1998). Por otro lado, el 26 % de la pérdida de agua en frutos de pimentón (*Capsicum annuum* L.), es a través de la cicatriz calicinal (Díaz-Pérez et al., 2007). En frutos de uva en cambio, la tasa de transpiración en el extremo estilar es 44 % mayor que en la piel, sin existir una asociación con el área estilar (Becker y Knoche, 2011). En frutos de arándano no se tiene información acerca de la participación de esta estructura en la pérdida de peso de los frutos.

2.3.5. Otras aberturas naturales (lenticelas y estomas)

La tasa de transpiración está positivamente relacionada con la densidad estomática del fruto (Knoche et al., 2000). Se ha reportado que en frutos de cerezo, aquellos con una mayor densidad de estomas en las zonas del extremo estilar y la sutura ventral, presentan una tasa de transpiración es 2,2 y 1,1 veces mayor respectivamente, que la piel del resto del fruto (Knoche et al., 2000).

En uvas, la tasa de transpiración no está relacionada al número de lenticelas que tenga la fruta o con el área de russet (Becker y Knoche, 2011). No obstante, se ha determinado que la transpiración lenticelar en manzanas puede representar entre 8 y 25 % de la transpiración total, sin existir una asociación entre el número y tamaño de las lenticelas en el fruto (Pieniazek, 1944).

No obstante lo anterior, debido a que los frutos de *Vaccinium* carecen de estomas y lenticelas en su epidermis, este no sería el caso (Eames y MacDaniels, 1947; Gough, 1994).

2.4. Respiración, etileno y vida postcosecha de la fruta

La vida de postcosecha de un producto hortofrutícola es inversamente proporcional a la tasa de respiración (Kader, 1992; Saltveit, 2016). El proceso de la respiración consiste en la combinación de oxígeno (O_2) con reservas orgánicas (usualmente azúcares) de los tejidos, para formar compuestos intermedios más simples, dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y liberación de energía (Kader, 1992; Fonseca et al., 2002; Tano et al., 2005; Saltveit, 2016). La tasa de respiración puede ser medida, como el consumo de O_2 o producción de CO_2 (Biale, 1961; Fonseca et al., 2002; Saltveit, 2016).

De acuerdo a la tasa de respiración de los frutos, éstos se pueden clasificar entre climatéricos y no climatéricos. Los frutos climatéricos después de ser cosechados muestran, de forma inmediata, un leve aumento en la liberación de CO_2 , conocido como mínimo pre-climatérico. Luego, presenta un fuerte incremento en la tasa de respiración alcanzando un máximo climatérico, culminando con el estado post-climatérico, donde la actividad respiratoria disminuye (Biale, 1961, Kader, 1992, Saltveit, 2016). En cambio, en frutos no climatéricos, la tasa de respiración es baja y disminuye de forma constante (Biale, 1961, Kader, 1992, Saltveit, 2016), por lo que, deben cosecharse en el estado óptimo de madurez de consumo (Biale, 1961).

Por lo general, los frutos climatéricos presentan una mayor tasa de respiración que los frutos no climatéricos (Biale, 1961), además, de una mayor concentración de etileno (C_2H_4) interno (Biale et al., 1954; Burg y Burg, 1962; Reid y Pratt, 1970), el cual está asociado al cambio de color y ablandamiento del fruto (Burg y Burg, 1962; Frenkel, 1972; Akamine y Goo, 1973).

En arándanos, el proceso de maduración está asociado al cambio de color de la baya (Bergman, 1929). En frutos de *V. angustifolium* se ha observado un comportamiento no climatérico, debido a que el consumo de O₂ disminuye desde el cambio de color verde hasta la cosecha (Hall y Forsyth, 1967). Mientras que, en frutos *V. corymbosum*, si se observa un periodo climatérico, porque aumenta la producción de CO₂ durante el cambio de color de la baya, desde inicio de coloración rosada hasta la coloración completamente roja de la baya. Desde dicho estado en adelante, la producción de CO₂ disminuye rápidamente (Bergman, 1929).

De forma similar, se observan cambios en la tasa de producción de C₂H₄ en frutos de *V. ashei*, la cual comienza aumentar de forma drástica desde un 25 % color rosado, hasta el enrojecimiento de la baya, alcanzando un máximo cuando la fruta está completamente rosada. Posteriormente, la tasa de producción de C₂H₄, disminuye cuando la baya cambia a color azul (El-Agamy et al., 1982).

En arándanos, la evolución de CO₂ o C₂H₄, durante el proceso de maduración es poco acentuado y decreciente (Frenkel, 1972), por lo que, el fruto de arándano en algunos casos es clasificado como climatérico (Kader, 1992) o como no climatérico (Saltveit, 2016).

Además, la temperatura es un factor determinante en la tasa de respiración en cualquier especie hortofrutícola, presentándose una relación directamente proporcional entre la tasa de respiración y temperatura (Biale et al., 1954; Biale, 1961; Burzo, 1980; Hagger et al., 1992; Crisosto et al., 1993; Fonseca et al., 2002; Saltveit, 2016), tal como se ha observado en arándanos (Beaudry et al., 1992; Song et al., 1992; Cameron et al., 1994; Perkins-Veazie, 2016). Así a rangos de temperaturas de 0 a 20 °C, la tasa de respiración media incrementa de 6 a 69 mgCO₂ kg⁻¹h⁻¹, respectivamente (Perkins-Veazie, 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material vegetal y selección de fruta

Se consideraron frutos de dos especies de arándanos, procedentes de la zona central de Chile: (1) *V. corymbosum* cvs. 'Duke', 'Brigitta' y 'Legacy' (Copefrut S.A Linares, Chile); y (2) *V. ashei* cv. 'Ochlockonee' (Entrerios Farms, Linares, Chile). Una vez cosechada, la fruta se transportó hacia el laboratorio en la Universidad de Talca (Talca, Chile), donde se realizó el estudio.

En el Laboratorio de Ecofisiología Frutal de Pre y Postcosecha, a una temperatura ambiente de 20 °C, se seleccionó la fruta de acuerdo a su firmeza ecuatorial (Figura 3.1-A) (Firm Tech 2, Bioworks, Inc., Wamego, KS, USA), descartándose aquellos frutos con valores de firmeza inferiores a 150 g mm⁻¹, además de aquellos que presentaban partidura, russet, indicios de deshidratación, hongos o cualquier otro tipo de daño o defecto visual.

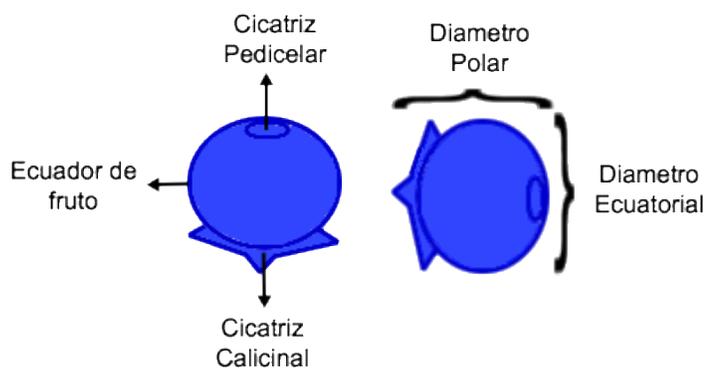


Figura 3.1-A. Representación esquemática y terminología utilizada en fruto de arándano.

3.2. Diseño experimental y tratamientos

Para determinar la participación de las diferentes vías de movimiento del agua desde el fruto al ambiente (cicatriz calicinal, cicatriz pedicelar y capa cerosa), se procedió a sellarlas mediante diferentes combinaciones, utilizando esmalte de uña de secado rápido (Catrice Cosmetics, Ultimate Nail Lacquer, Sulzbach, MTK, Alemania) (Anexo 4). Adicionalmente, un tratamiento consideró la eliminación de las ceras epicuticulares, mediante la inmersión de los frutos en hexano por 5 s. Los tratamientos se describen en la Figura 3.2-A., los que consideraron 4 repeticiones compuestas por 5 frutos cada una. Cada unidad experimental se ubicó sobre pequeñas planchas de poliestireno sostenidas sobre una malla plástica rígida que permitió generar cuatro pisos (repeticiones) (Anexo 5), las que se ubicaron en una caja plástica (32,5 cm de largo, 22,5 cm de ancho en apertura, 19,5 cm de ancho en la base y 12 cm de alto) con cierre hermético (Figura 3.2-B, a) (Anexo 6).

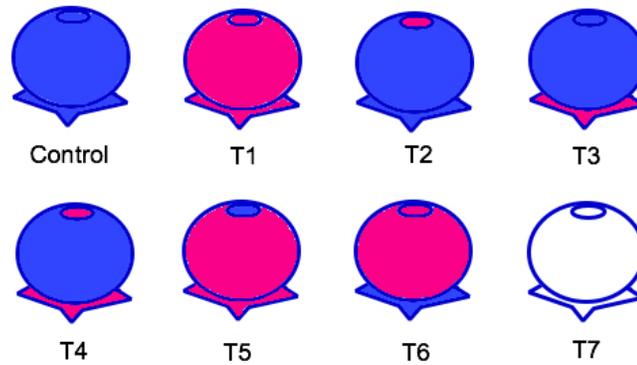


Figura 3.2-A. Representación esquemática de los tratamientos aplicados en cuatro cultivares de arándano, donde; **Control:** tratamiento control (fruto sin pintar); **T1:** fruto pintado completamente; **T2:** sólo cicatriz pedicelar pintada; **T3:** sólo cicatriz calicinal pintada; **T4:** cicatriz pedicelar y calicinal pintadas; **T5:** fruto pintado y sólo cicatriz pedicelar sin pintar; **T6:** fruto pintado y sólo cicatriz calicinal sin pintar; **T7:** fruto sin ceras.

Posteriormente, para evaluar la sensibilidad varietal de las vías de deshidratación bajo diferentes condiciones de DPV, se prepararon contenedores plásticos (18,5 cm de largo y ancho, 9 cm de alto) (Figura 3.2-B, b), en los cuales se generaron concentraciones (v/v) decrecientes de glicerol para biología molecular (Winkler Ltda., Santiago, Chile) en agua bi-destilada (100, 75, 50 y 0 %) (Forney y Brandl, 1992); cada caja contenía 1.000 ml de solución. Las HR resultantes, medidas con un sensor HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity, Onset Computer Corporation, MA, USA, fueron; $35,4 \pm 5,4 \%$, $67,8 \pm 1,4 \%$, $84,3 \pm 2,0 \%$ y $96,8 \pm 0,3 \%$.

Para movilizar el aire desde la caja con la solución mencionada (Figura 3.2-B, b) y controlar la humedad relativa en las cajas que contenían la fruta (Figura 3.2-B, a), se utilizó una bomba de aire (Figura 3.2-B, c) (SB-348A, Sobo, India). Tal como se indica en la figura 3.2-B, el sistema de bombeo conectado mediante mangueras plásticas (4 mm de diámetro interno) (Figura 3.2-B, 1 – 2), impulsó aire (4 L min^{-1}) a la solución glicerol/agua, generando burbujas que circularon a la caja con la fruta.

La fruta se mantuvo dentro de una cámara de frío por un periodo de 10 d a $1,2 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Para verificar que no existieran cambios en las condiciones del ensayo, en cada contenedor, la HR se registró diariamente y, en caso de presentarse un cambio mayor al 5 % del valor buscado, se procedió a cambiar la totalidad de la solución antes mencionada.

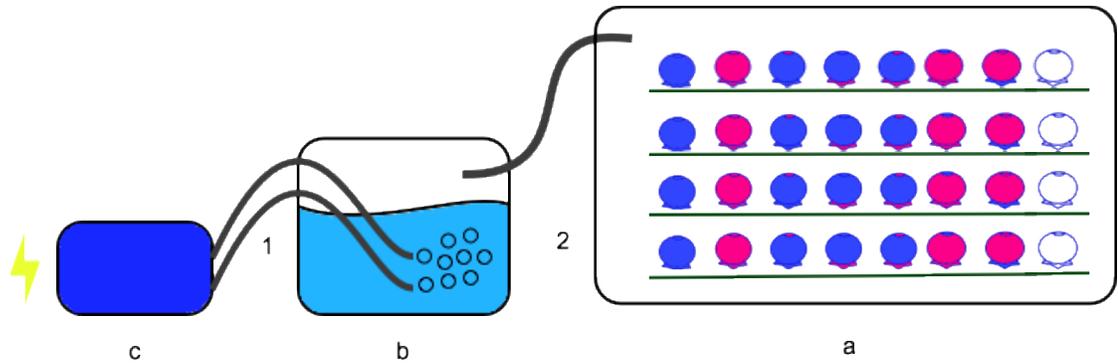


Figura 3.2-B. Sistema de bombeo para controlar la humedad relativa, donde; la bomba **(c)** impulsa el flujo de aire a través de tubos **(1)** hacia el contenedor con la solución de agua/glicerol **(b)**, el aire humidificado se mueve a través de un tubo **(2)** hacia el interior del contenedor con fruta **(a)**.

3.3. Evaluaciones

3.3.1. Madurez inicial de la fruta

De la fruta que llegó al Laboratorio de Ecofisiología Frutal de Pre y Postcosecha, se tomó una muestra al azar consistente en 4 repeticiones de 25 frutos por cultivar. Primero se midió firmeza en $g\ mm^{-1}$ (Firm Tech 2, Bioworks, Inc., Wamego, KS, USA) y, luego, peso (g), (BAS 31 plus, Boeco, Alemania), además de diámetro ecuatorial y polar (mm) con pie de metro digital. De los 25 frutos por repetición, se seleccionaron los primeros cinco, a los cuales se les midió, individualmente, peso, SS ($^{\circ}$ Brix) con refractómetro óptico termo-compensado (Master-T, Atago, Tokyo, Japón). Para la medición de AT (%), la muestra fue finalmente licuada con una cantidad de agua bi-destilada igual al peso de los frutos, mediante titulador automático (TritoLine easy, SI Analytics GmbH, College Station, TX, USA), se determinó el gasto de hidróxido de sodio (NaOH 0,1N) hasta lograr un pH de 8,2 (Mitcham et al., 1996), estimándose el porcentaje de ácido mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ácido (\%)} = \frac{ml\ N\ meq}{g} 100$$

donde; Ácido (%): porcentaje del ácido que predomina; ml: mililitros de NaOH utilizados para alcanzar un pH de 8,2; N: normalidad de NaOH (0,1); meq: miliequivalentes del ácido en que se expresará el resultado (ác. cítrico: 0,064; ác. succínico: 0,059); g: peso de la muestra en gramos.

Posteriormente, al considerar los frutos como esferoides, se pudo estimar la superficie y volumen de los frutos, estimándose mediante las siguientes formulas:

$$S (cm^2) = 2\pi \left(\frac{\emptyset Ec}{2}\right)^2 \left(1 + \frac{\left(\left(1 - \left(1 - \left(\frac{(\emptyset Po)^2}{2} \right) \right) \right) \right)}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{(\emptyset Po)^2}{2} \right) \right)}} \right) ar \tanh \sqrt{\left(1 - \left(\frac{(\emptyset Po)^2}{2} \right) \right)} / 100$$

$$V (cm^3) = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\emptyset Ec}{2} \right)^2 \left(\frac{\emptyset Po}{2} \right) / 1000$$

donde; S: superficie de fruta (cm²); V: volumen de fruta (cm³); π : número Pi; $\emptyset Ec$: diámetro ecuatorial (mm); $\emptyset Po$: diámetro polar (mm); ar tanh: tangente hiperbólica inversa.

De esta forma, fue posible determinar las siguientes relaciones: superficie / peso, (cm² g⁻¹); superficie / volumen, (cm² cm⁻³); y sólidos solubles / acidez titulable, (SS/AT).

3.3.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso de cada tratamiento y para cada condición de HR se registró en gramos (g), la cual fue medida de forma diaria, durante 10 d. Para ello se midió el peso inicial de cada repetición y tratamiento. Con esta información se obtuvo la pérdida de peso diaria y la pendiente a la pérdida de agua (g d⁻¹), determinándose así la pérdida de peso en porcentaje, como lo refleja la siguiente ecuación:

$$PP(\%) = \frac{(Pi - Pf)}{Pi} 100$$

donde; PP: porcentaje de pérdida de peso; Pi: peso inicial (g); Pf: peso final (g).

3.3.3. Firmeza

La firmeza (g mm⁻¹) de la fruta fue medida en dos momentos; al principio cuando se realizó la primera evaluación para la selección de la fruta para el ensayo (sección 3.1) y al final del ensayo; para esto se utilizó el equipo Firm Tech 2 (Bioworks, Inc., Wamego, KS, USA), el cual se configuró con una fuerza de compresión máxima de 200 g (1,96 N) y un umbral mínimo de deflexión de 15 g (0,15 N) La velocidad del vástago fue configurada a 6 mm s⁻¹ y la del plato rotatorio a 1,58 rps. (Moggia et al., 2017). Para esta última medición, después de los 10 d de evaluación de la pérdida de peso, la fruta se retiró de la cámara de frío y se dejó a 18 °C por 2 h, aproximadamente, para evitar medir firmeza con baja temperatura de pulpa. Debido a que el esmalte de uña cambió las propiedades de deformación del fruto, se excluyeron los tratamientos

en que la epidermis fue pintada (T1, T5 y T6). La pérdida de firmeza (%) fue determinada de la siguiente ecuación:

$$PF (\%) = \frac{(Fi - Ff)}{Fi} 100$$

donde; PF: porcentaje de pérdida de firmeza; Fi: firmeza inicial (g mm⁻¹); Ff: firmeza final (g mm⁻¹).

3.3.4. Temperatura y humedad relativa

En cada condición, la temperatura y humedad relativa fue registrada 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, registrándose una temperatura de almacenaje de $1,2 \pm 0,7$ °C, y HR de $35,4 \pm 5,4$ %, $67,8 \pm 1,4$ %, $84,3 \pm 2,0$ % y $96,8 \pm 0,3$ %.

3.3.5. Permeabilidad aparente al agua

La permeabilidad aparente al agua PH_2O ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{kPa}^{-1}$) de las distintas estructuras del fruto, fue determinada según Díaz-Pérez et al. (2007), con la siguiente fórmula:

$$PH_2O (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{kPa}^{-1}) = \frac{Pd \ Pi}{SF \ DPV} 6,43 \times 10^{-3}$$

donde; Pd: porcentaje de pérdida de peso diario (% d⁻¹); Pi: peso inicial (g); SF: superficie del fruto (m²); DPV: déficit de presión de vapor (kPa).

3.3.6. Respiración

La estimación de la tasa de respiración fue sumada a la pérdida de peso diario para determinar la pérdida de agua de la fruta. La liberación de CO₂ (mg kg⁻¹ h⁻¹) de cada cultivar fue estimada según el método cerrado o estático (Beaudry et al., 1992) cuando se inició el ensayo. Para lo anterior, se seleccionaron tres frutos sanos por variedad los que se introdujeron en un frasco de vidrio de 33 ml que fue sellado con papel parafilm (Bemis, Parafilm "M" Laboratory film, Neenah, WI, USA). Se utilizaron cinco repeticiones por cultivar, las que permanecieron a $1,2$ °C, por 2 horas en oscuridad, luego se extrajo el gas de su interior, con una jeringa de 1 ml, el cual se inyectó en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC-2014, Gas Chromatograph System, Kyoto, Japón). Los frutos seleccionados fueron pesados de forma individual y se les midió su diámetro ecuatorial y polar, para poder determinar el volumen que estos ocuparon en el frasco de vidrio. La tasa de respiración se estimó aplicando la siguiente fórmula:

$$RCO_2 = \frac{\%CO_2 V}{100 M (t_f - t_i)} \rho CO_2$$

donde; RCO₂: tasa de respiración (mg kg⁻¹ h⁻¹), según liberación de CO₂; %CO₂: porcentaje de CO₂ producido; V: volumen libre recipiente (ml); M: masa total de la muestra (kg); t_i: hora inicial de medición (hr); t_f: hora final de medición (hr); ρCO₂: densidad de CO₂ (1,96 mg ml⁻¹).

3.3.7. Análisis de datos

Para determinar la participación de las distintas estructuras del fruto de arándano en la pendiente de la pérdida de agua (PPA), se compararon los valores obtenidos en los tratamientos T1 al T7 de las cuatro condiciones de HR, respecto del valor obtenido para tratamiento Control; para la firmeza final (FF), solamente se pudo hacer la comparación de T2, T3, T4 y T7 respecto del Control. Para ambas variables, se realizó un análisis factorial entre los tratamientos aplicados (Tt) y la condición de humedad relativa (HR); los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y separación de medias mediante test de Duncan ($p \leq 0,05$). Para la interpretación de los resultados, valores negativos en la PPA o en la FF indican una disminución porcentual de la variable respecto del tratamiento control, mientras que los valores positivos indican un incremento de la misma. Adicionalmente, se calcularon los coeficientes de correlación para establecer la asociación entre el porcentaje de pérdida de firmeza (PF %), firmeza final (FF g mm⁻¹) versus el porcentaje de pérdida de peso (PP %). Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando Statgraphics Centurion XVI v16.0.09.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de los frutos utilizados de los cuatro cultivares de arándano

Al caracterizar los frutos de los cuatro cultivares a cosecha (Cuadro 4.1), se observa que el cv. 'Legacy' fue el de mayor peso (2,22 g) y firmeza (218,6 g mm⁻¹), así como el de menor relación superficie / peso (3,13 cm² g⁻¹), SS/AT (14,24) y superficie / volumen (4,22 cm² cm⁻³), siendo este último parámetro similar con 'Brigitta' y 'Ochlockonee'. Los frutos del cv. 'Brigitta' también fueron los de menor relación superficie / volumen (4,29 cm² cm⁻³) y menor relación SS/AT (15,23), así como el segundo cultivar con mayor peso de fruto (2,12 g); sin embargo, en éste se dieron los valores más bajos de firmeza (154,9 g mm⁻¹).

Por otro lado, los cvs. 'Duke' y 'Ochlockonee' fueron los de menor peso de fruto (1,78 y 1,74 g), y los de mayor relación, superficie / volumen (4,66 cm² cm⁻³ y 4,55 cm² cm⁻³) y SS/AT (24,34 y 25,74), además el cv. 'Duke' fue el de mayor relación superficie / peso (3,53 cm² g⁻¹). Respecto a la firmeza los valores fueron de 179,4 g mm⁻¹ y 166,9 g mm⁻¹ para 'Duke' y 'Ochlockonee', respectivamente.

Cuadro 4.1. Peso, firmeza, diámetro ecuatorial, diámetro polar, relación superficie / volumen, relación superficie / peso y relación sólidos solubles / acidez titulable de arándanos cvs. 'Duke' 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee'.

Cultivar	Peso (g)	Firmeza (g mm ⁻¹)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Superficie / volumen (cm ² cm ⁻³)	Superficie / peso (cm ² g ⁻¹)	SS / AT
'Ochlockonee'	1,74	166,9	14,47	11,42	4,55	3,29	25,74
'Duke'	1,78	179,4	15,64	10,93	4,66	3,53	24,35
'Brigitta'	2,12	154,9	16,45	11,18	4,29	3,21	15,23
'Legacy'	2,22	218,6	16,60	11,37	4,22	3,13	14,24
Significancia	**	**	**	**	*	**	**

Letras distintas entre las columnas indican diferencias significativas (Duncan, $p \leq 0,05$).

Significancia: ** ($p \leq 0,01$); * ($p \leq 0,05$); n.s (no significativo).

4.2. Comportamiento del tratamiento control de cuatro cultivares de arándano en postcosecha

El comportamiento de los frutos del tratamiento Control (sin tratar con esmalte o remoción del "bloom"), que fueron almacenados en distintas condiciones de HR (~35 a 97 %) a 1,2 °C por 10 d, presentaron diferencias significativas tanto entre cultivares como entre condiciones de HR (Cuadro 4.2). De esta forma, la pérdida de peso (PP), la permeabilidad aparente al agua (PH₂O), la pendiente de la pérdida de agua (PPA) y la pérdida de firmeza (PF) tienen relación

inversamente proporcional con la HR, mientras que para la firmeza final de la fruta (FF) esta asociación es positiva (Cuadro 4.2). Así, los valores de R_2 para las variables PP, PH_2O , PPA y PF, en relación a la HR, fluctuaron entre; 0,89 a 0,96; 0,98 a 0,99; 0,84 a 0,92; y 0,81 a 0,93, respectivamente. Mientras que, para el caso de la variable FF estos valores varían entre 0,79 a 0,92 (datos no se incluyen).

Las diferencias entre cultivares fueron más acentuadas bajo condiciones de menor HR. Así, cuando la HR fue de 35,4 % el cv. 'Duke' presentó los más altos valores de PP, PH_2O y PPA, mientras que, para las variables asociadas a la firmeza; además este cv. junto con 'Ochlockonee' presentan las menores FF y la mayor PF. Al analizar el efecto de la HR, el aumento de la misma marcó diferencias significativas para todas las variables evaluadas en los cuatro cultivares. La excepción fue la PF en el cv. 'Brigitta', donde el % de ablandamiento no varió significativamente entre 68 y 97 % de HR.

Respecto de la relación existente entre PP y FF, para los cuatro cultivares, se determinó una asociación lineal e inversamente proporcional y altamente significativa ($p \leq 0,01$) (Figura 4.2-A); las mayores asociaciones se registraron para 'Duke' y 'Legacy' ($R_2 = 0,94$ y $0,89$, respectivamente), mientras que, 'Brigitta' y 'Ochlockonee' mostraron una menor relación ($R_2 = 0,72$ y $0,54$, respectivamente). Por otra parte la relación entre PP vs. PF fue lineal y directamente proporcional (Figura 4.2-B); nuevamente los cvs. 'Duke' y 'Legacy' mostraron las mejores relaciones ($R_2 = 0,93$ y $0,92$, respectivamente). En cuanto a las pendientes, en ambos casos (Figuras 4.2-A – B), los cvs. 'Legacy' y 'Ochlockonee' mostraron las mayores y menores tasas de cambio, respectivamente.

Cuadro 4.2. Porcentaje de pérdida de peso (PP), permeabilidad aparente al agua (PH₂O), pendiente de la pérdida de agua (PPA), firmeza final (FF) y porcentaje de pérdida de firmeza (PF) del tratamiento control, de frutos de arándano de los cvs. 'Duke' 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee' almacenados por 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa.

Variable	Cultivar	Humedad Relativa (%)							
		35,4		67,8		84,3		96,8	
PP (%)	'Duke'	13,97	B,d	10,82	B,c	5,94	B,b	1,04	C,a
	'Brigitta'	6,01	A,d	4,26	A,c	2,79	A,b	0,72	B,a
	'Legacy'	7,15	A,d	4,73	A,c	2,49	A,b	0,41	A,a
	'Ochlockonee'	6,81	A,d	4,56	A,c	3,48	A,b	0,82	BC,a
PH ₂ O ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ kPa ⁻¹)	'Duke'	5,23	B,c	1,82	C,b	0,53	C,a	0,023	C,a
	'Brigitta'	2,23	A,d	0,81	A,c	0,26	A,b	0,014	AB,a
	'Legacy'	2,71	A,d	0,96	B,c	0,25	A,b	0,009	A,a
	'Ochlockonee'	2,71	A,d	1,00	B,c	0,36	B,b	0,018	BC,a
PPA (g d ⁻¹)	'Duke'	0,12	C,d	0,09	C,c	0,05	B,b	0,009	C,a
	'Brigitta'	0,05	A,d	0,04	A,c	0,03	A,b	0,008	BC,a
	'Legacy'	0,08	B,d	0,05	B,c	0,03	A,b	0,004	A,a
	'Ochlockonee'	0,06	A,d	0,04	A,c	0,03	A,b	0,006	AB,a
FF (g mm ⁻¹)	'Duke'	95,9	A,a	109,3	A,a	138,4	AB,b	170,3	B,c
	'Brigitta'	123,9	BC,a	139,7	B,ab	142,0	B,b	164,2	B,c
	'Legacy'	130,1	C,a	148,3	B,a	176,0	C,b	197,7	C,c
	'Ochlockonee'	108,9	AB,a	110,6	A,ab	122,2	A,bc	130,3	A,c
PF (%)	'Duke'	46,66	C,d	39,20	C,c	26,41	BC,b	4,61	A,a
	'Brigitta'	33,05	A,b	22,96	A,a	19,88	AB,a	18,00	B,a
	'Legacy'	38,77	AB,d	29,30	B,c	14,79	A,b	5,21	A,a
	'Ochlockonee'	41,62	BC,d	37,63	C,c	30,68	C,b	26,77	C,a

Valores medios con misma letra no presentan diferencias significativas, según test de Duncan, $p \leq 0,05$. Letras en mayúscula dentro de la misma columna son para comparar la influencia del cultivar y letras en minúscula entre las columnas son para comparar la influencia de la humedad relativa.

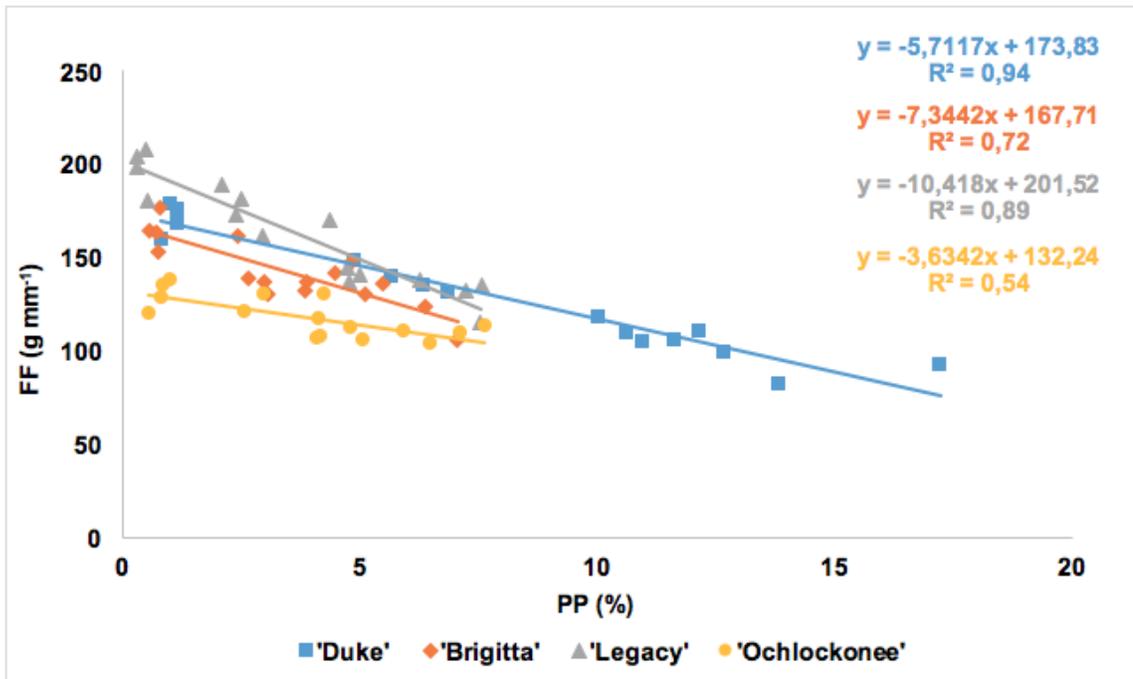


Figura 4.2-A. Correlación entre **pérdida de peso (%)** y **firmeza final (g mm⁻¹)**, para el **tratamiento control** de los cultivares, 'Duke', 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee', después de 10 d de almacenaje a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

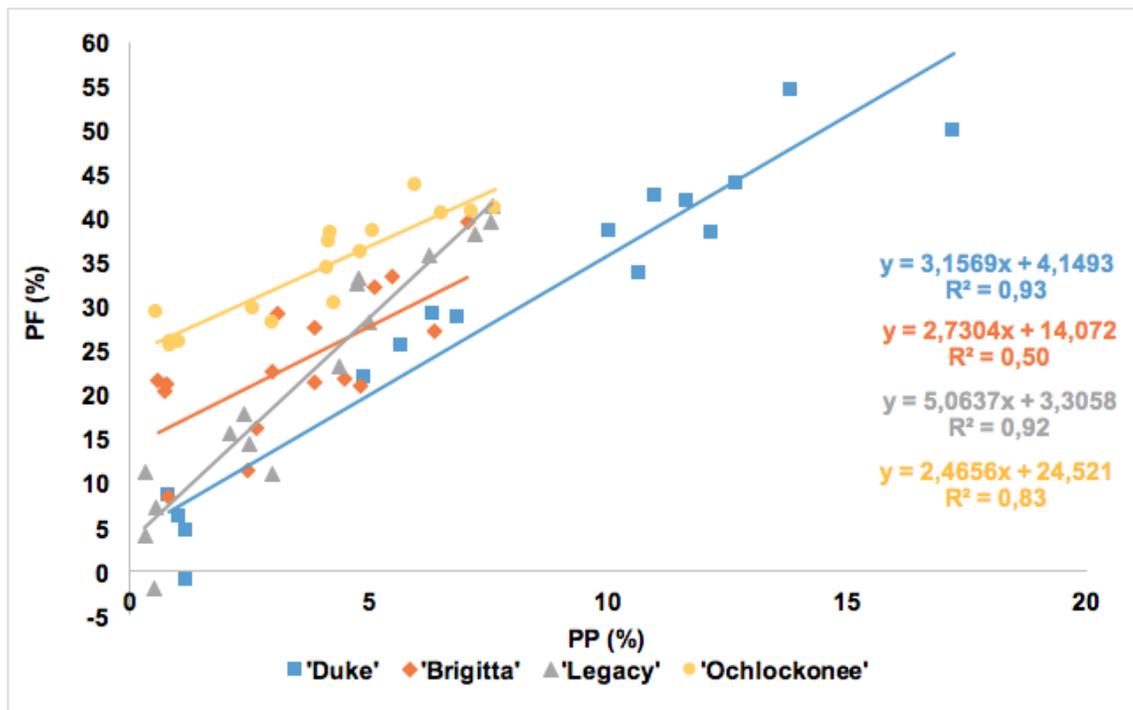


Figura 4.2-B. Correlación entre **pérdida de peso (%)** y **pérdida de firmeza (%)**, para el **tratamiento control** de los cultivares, 'Duke', 'Brigitta', 'Legacy' y 'Ochlockonee', después de 10 d de almacenaje a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

4.3. Participación de las estructuras del fruto de arándano en la pérdida de peso

El sellado artificial y la remoción del “*bloom*”, permitió comparar el efecto de la HR sobre el porcentaje variación de la PPA para cada tratamiento, respecto de la condición control (fruto no manipulado). Así, en el Cuadro 4.3, valores negativos indican una disminución porcentual de la PPA respecto del tratamiento control, mientras que los valores positivos indican un incremento de la misma.

Independiente del nivel de intervención en el fruto (esmalte o remoción del “*bloom*”), la HR generó de forma significativa, cambios en las PPA respecto del tratamiento control en los cvs. ‘Duke’, ‘Brigitta’ y ‘Ochlockonee’ (0 a 43 % de reducción), mientras que en ‘Legacy’ no se detectaron diferencias, generándose en este cv. en promedio. 29 % de reducción respecto del control, para todas las condiciones de HR.

El análisis en función de las posibles vías de pérdida de agua del fruto, indica que, a excepción de T3 (cobertura de la cicatriz calicinal), todos los frutos que fueron sellados (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) resultaron en una disminución de la PPA, respecto tratamiento control. Por el contrario, aquellos frutos donde se removió la cera natural (T7) presentaron un incremento en la PPA (14 a 54 %). Los resultados para todos los tratamientos variaron considerablemente dependiendo del cultivar analizado.

En los cuatro cultivares, se observó la gran influencia de la cutícula como barrera a la pérdida de agua, representada por el tratamiento en que se selló el fruto completo (T1); en este caso la reducción fue mínima en ‘Brigitta’ y máxima en ‘Duke’ (47 y 79 %, respectivamente). Valores similares se observaron en el tratamiento en que solamente se dejó la cicatriz calicinal sin pintar (T6), sugiriendo una baja influencia de esta estructura como barrera a la pérdida de agua. Efectivamente, el tratamiento complementario a T6, sólo con sello en la cicatriz calicinal (T3), prácticamente no generó cambios en la PPA (valores muy cercanos a 0) en comparación con el tratamiento Control; sólo en el cv. ‘Ochlockonee’ se generó una reducción superior a cero (10 %) (Cuadro 4.3).

Por otra parte, al sellar la cicatriz pedicelar de la fruta (T2) o sellar ambas cicatrices (T4), generó para cada uno de los cvs. una reducción similar en la PPA, y sin diferencias significativas, con disminuciones de 16 y 20 % en ‘Duke’; 27 y 28 % en ‘Brigitta’; 46 y 44 % en ‘Legacy’ y 33 y 38 % en ‘Ochlockonee’ para T2 y T4, respectivamente. Así se hizo evidente que el rango de disminución entre 16 – 46 % para T2 y entre 20 – 44 % para T4, estuvo influenciado solamente por los cultivares.

Al observar el tratamiento opuesto (T5) (que sería el opuesto a T2), en el que solamente se dejó libre la cicatriz pedicelar, la disminución de la PPA varía entre un mínimo de 7 % y un máximo de 47 % para 'Brigitta' y 'Duke', respectivamente. En el caso de 'Ochlockonee', la reducción de la PPA entre los tratamientos T2, T4 y T5 no presentan diferencias significativas entre sí, variando entre un 28 a 35 % (Cuadro 4.3).

Por último, al extraer las ceras (T7), el aumento en la PPA fue mínimo en 'Ochlockonee', máximo en 'Brigitta' (14 y 54 %, respectivamente) y con valores intermedios (36 %) para 'Duke' y 'Legacy' (Cuadro 4.3).

Respecto de la interacción entre la HR y tratamientos (HR x Tt), ésta sólo resultó significativa en 'Duke', donde se observó una mayor disminución de la PPA en T7, respecto de los otros tratamientos, al aumentar la HR en almacenaje (Anexo 1).

Finalmente, como se desprende de las figuras 4.3-A – D, al comparar los tratamientos T2, T3, T4 y T7, respecto de la condición de HR, se destaca que la PPA de los cuatro cultivares se minimizó con la mayor HR. Sin embargo, bajo la menor HR las diferencias entre tratamientos se hacen evidentes, al igual que el contraste entre cultivares.

Cuadro 4.3. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos (azul: tejido intacto, rojo: pintado con esmalte, transparente: sin “bloom”), sobre el cambio porcentual de la **pendiente de la pérdida de agua (PPA)** respecto del **tratamiento control**, de frutos de arándano de los cvs. ‘Duke’ ‘Brigitta’, ‘Legacy’ y ‘Ochlockonee’ almacenados por 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C bajo distintas condiciones de HR.

Factor	Cambio (%) de la pendiente de pérdida de agua del fruto respecto del tratamiento control (PPA / Tt Control – 1), para cada condición de humedad relativa			
	‘Duke’	‘Brigitta’	‘Legacy’	‘Ochlockonee’
Humedad Relativa (HR, %)				
35,4	-0,25 ab	-0,15 a	-0,33	-0,16 c
67,8	-0,32 a	-0,24 a	-0,29	-0,30 b
84,3	-0,31 a	-0,21 a	-0,27	-0,36 ab
96,8	-0,23 b	0,05 b	-0,27	-0,43 a
Tratamientos (Tt)				
T1 	-0,79 a	-0,47 a	-0,69 a	-0,68 a
T2 	-0,16 c	-0,27 b	-0,46 b	-0,33 b
T3 	0,05 d	0,03 c	0,00 d	-0,10 c
T4 	-0,20 c	-0,28 b	-0,44 b	-0,28 b
T5 	-0,47 b	-0,07 c	-0,17 c	-0,35 b
T6 	-0,71 a	-0,45 a	-0,63 a	-0,59 a
T7 	0,35 e	0,54 d	0,37 e	0,14 d
Significancia				
HR	*	**	n.s	**
Tt	**	**	**	**
HR x Tt	**	n.s	n.s	n.s

Para los factores, cultivar, humedad relativa y tratamientos, letras distintas en las columnas indican diferencias significativas (Duncan, $p \leq 0,05$). Significancia: ** ($p \leq 0,01$); * ($p \leq 0,05$); n.s (no significativo).

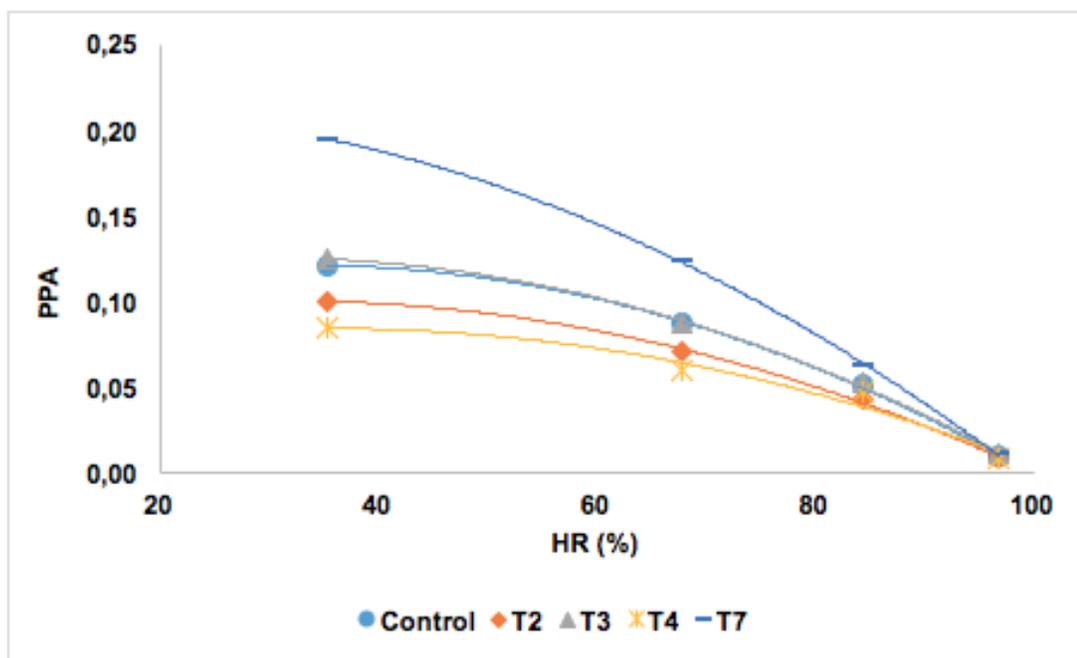


Figura 4.3-A. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados (Control, T2, T3, T4 y T7), sobre la **pendiente de pérdida de agua (PPA)** de frutos de arándano del cultivar ‘Duke’, almacenados durante 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

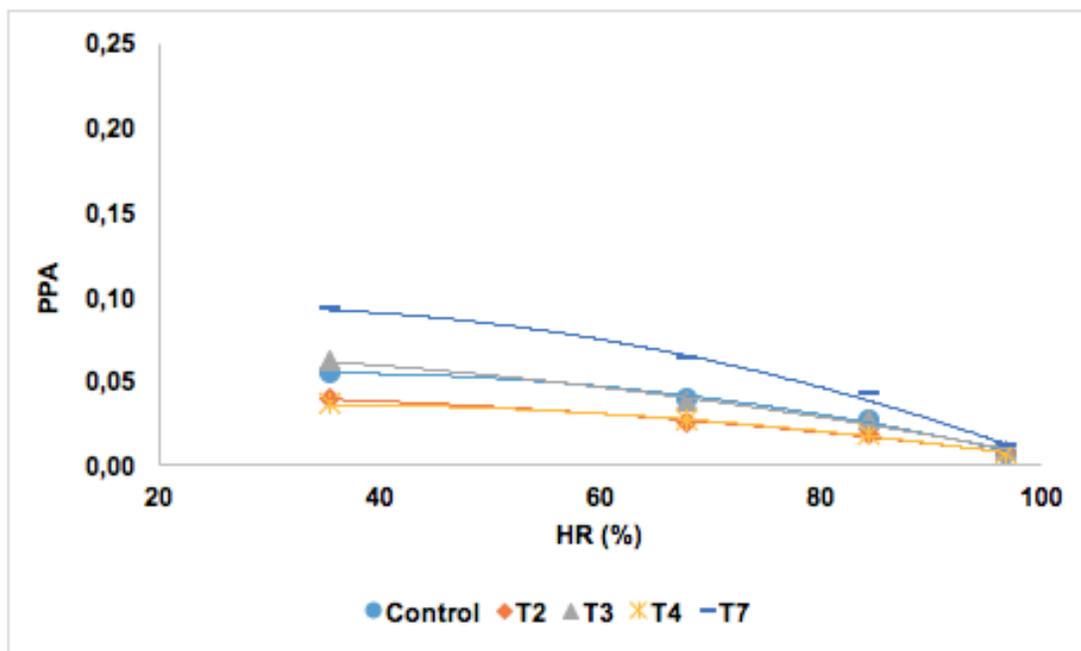


Figura 4.3-B. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados (Control, T2, T3, T4 y T7), sobre la **pendiente de pérdida de agua (PPA)** de frutos de arándano del cultivar ‘Brigitta’, almacenados durante 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

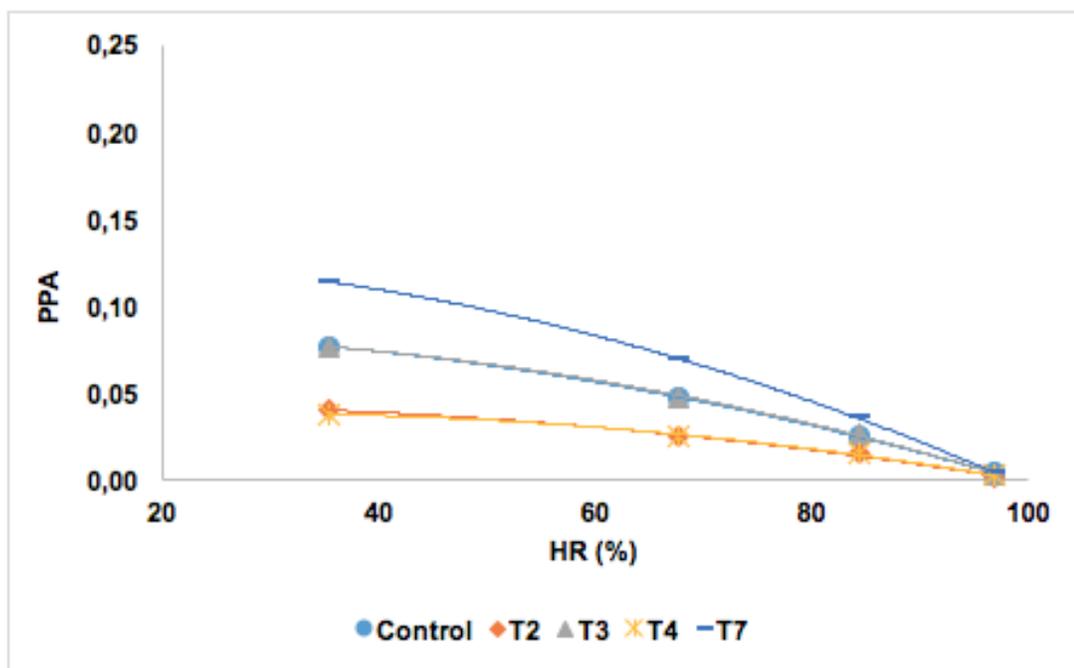


Figura 4.3-C. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados (Control, T2, T3, T4 y T7), sobre la **pendiente de pérdida de agua (PPA)** de frutos de arándano del cultivar '**Legacy**', almacenados durante 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

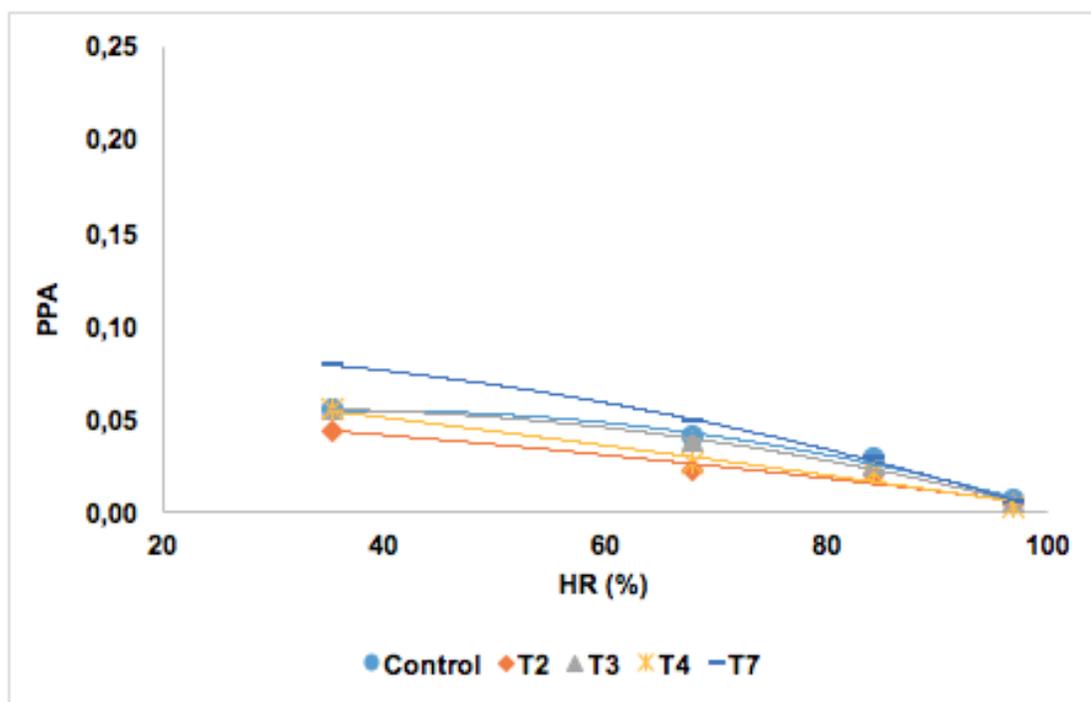


Figura 4.3-D. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados (Control, T2, T3, T4 y T7), sobre la **pendiente de pérdida de agua (PPA)** de frutos de arándano del cultivar '**Ochlockonee**', almacenados durante 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

4.4. Participación de las estructuras del fruto de arándano en la firmeza final

El Cuadro 4.4 muestra la influencia de T2, T3, T4 y T7, sobre la reducción en firmeza final (FF) de la fruta, para cada tratamiento, respecto Control (fruto no manipulado). De esta forma, valores positivos indican un incremento de la FF respecto del tratamiento control y valores negativos señalan una reducción de la misma.

El cambio porcentual de la FF fue variable para cada cultivar en función de la HR y el tratamiento aplicado, sin que se observara una clara tendencia. Además hubo interacción significativa, entre ambos factores para los cvs. 'Brigitta' (Anexo 2) y 'Legacy' (Anexo 3).

Respecto de la HR, los mayores aumentos de la FF (entre 6 y 15 %) respecto del Control, ocurrieron para 'Duke' y 'Ochlockonee' con 68 % HR y para 'Legacy' con 35 y 68 % HR. En estos mismos cultivares, las dos condiciones más altas de HR resultaron entre 1 y 5 % de disminución de la FF. Por su parte el cv. 'Brigitta' respondió con una disminución de la FF para todas las HR, con valores menores a 10 % para 35 y 68 % HR y una disminución del 20 % para 85 y 97 % HR. Sólo en 'Ochlockonee' las mayores HR resultaron en un aumento de la FF respecto del tratamiento Control.

En relación a los tratamientos aplicados, se determinó que, al extraer las ceras de la fruta (T7), la FF se redujo entre un 7 y 24 %, siendo 'Brigitta' la más sensible y 'Legacy' la menos afectada. En el caso específico de 'Legacy', la disminución de la FF no presentó diferencias significativas entre T3 y T7. Adicionalmente, cubrir la cicatriz pedicelar (T2 y T4) generó un aumento de 4 a 16 % de la FF en todo los cvs., excepto en 'Brigitta', donde se mantuvo una disminución entre 3 y 5 % (Cuadro 4.4 y Figura 4.4-A-D).

La interacción significativa detectada para los cvs. 'Brigitta' y 'Legacy' en los tratamientos en que se selló la cicatriz pedicelar (T2 y T4), indica una tendencia a la disminución en la FF de estos tratamientos al aumentar la HR.

Cuadro 4.4. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos (Tt), sobre el cambio porcentual de la firmeza final (FF), respecto del **tratamiento control**, de frutos de arándano almacenados por 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

Factor	Cambio (%) de la firmeza final de la fruta respecto del tratamiento control (FF / Tt Control – 1), para cada condición de humedad relativa			
	‘Duke’	‘Brigitta’	‘Legacy’	‘Ochlockonee’
Humedad Relativa (HR, %)				
35,4	-0,03 a	-0,06 b	0,07 b	-0,02 a
67,8	0,06 b	-0,07 b	0,07 b	0,15 b
84,3	-0,06 a	-0,09 b	-0,05 a	0,01 a
96,8	-0,02 a	-0,20 a	-0,05 a	0,01 a
Tratamientos (Tt)				
T2 	0,08 c	-0,03 c	0,16 b	0,10 b
T3 	-0,05 b	-0,11 b	-0,08 a	0,05 b
T4 	0,06 c	-0,05 bc	0,04 b	0,10 b
T7 	-0,14 a	-0,24 a	-0,07 a	-0,10 a
Significancia				
HR	**	**	**	**
Tt	**	**	**	**
HR x Tt	n.s	**	*	n.s

Para los factores, cultivar, humedad relativa y tratamientos, letras distintas en las columnas indican diferencias significativas (Duncan, $p \leq 0,05$). Significancia: ** ($p \leq 0,01$); * ($p \leq 0,05$); n.s (no significativo).

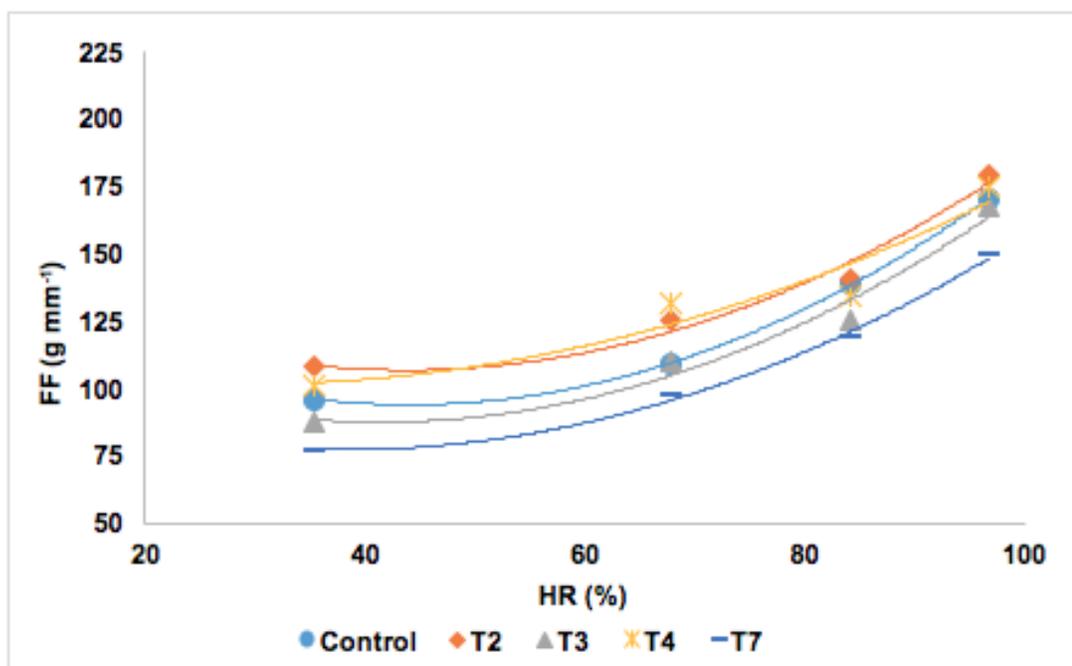


Figura 4.4-A. Impacto de la **humedad relativa (HR)** y tratamientos aplicados, sobre la **firmeza final (g mm⁻¹)** de frutos de arándano del cultivar **'Duke'**, almacenados durante 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

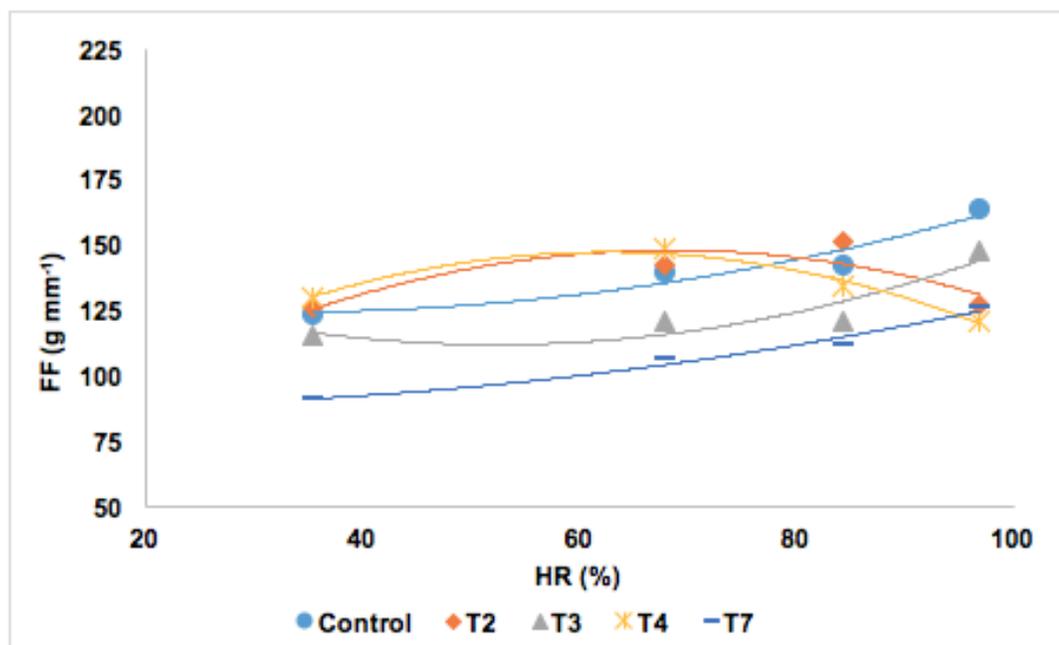


Figura 4.4-B. Impacto de la **humedad relativa (HR)** y tratamientos aplicados, sobre la **firmeza final (g mm⁻¹)** de frutos de arándano del cultivar **'Brigitta'**, almacenados durante 10 d a $1,2 \pm 0,7$ °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

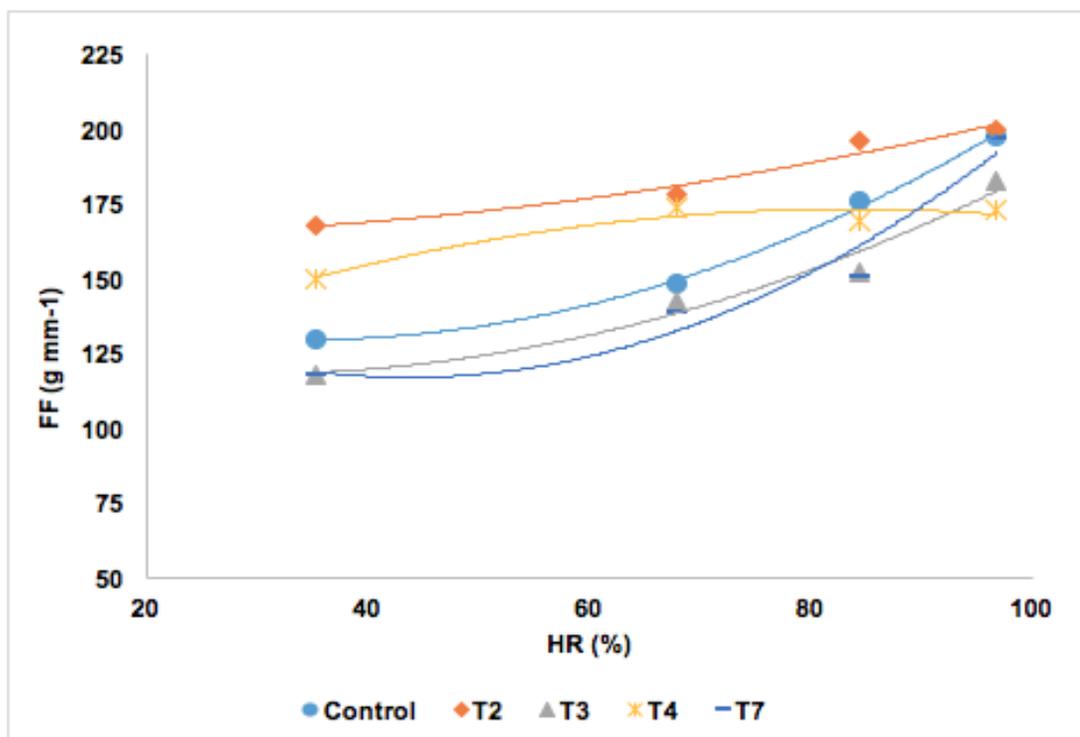


Figura 4.4-C. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados, sobre la firmeza final (g mm⁻¹) de frutos de arándano del cultivar 'Legacy', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

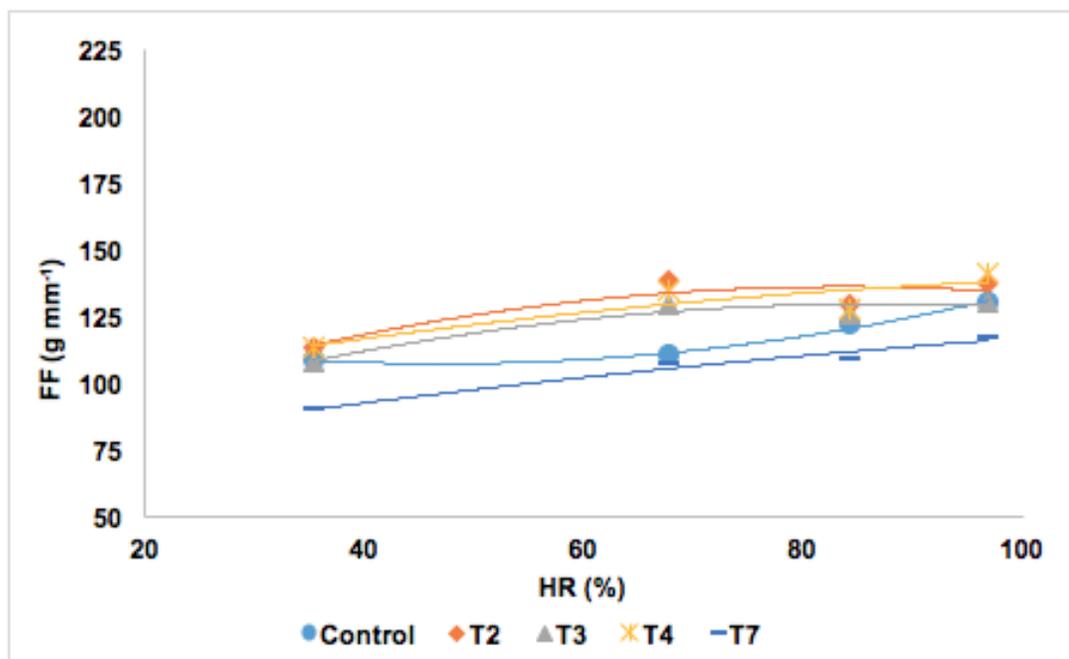


Figura 4.4-D. Impacto de la humedad relativa (HR) y tratamientos aplicados, sobre la firmeza final (g mm⁻¹) de frutos de arándano del cultivar 'Ochlockonee', almacenados durante 10 d a 1,2 ± 0,7 °C, bajo distintas condiciones de humedad relativa (35,4 – 96,8 %).

5. DISCUSIÓN

5.1. Comportamiento del tratamiento control de cuatro cultivares de arándano en postcosecha

Los cuatro cultivares de arándano mostraron una alta correlación positiva y lineal ($r_2 = 0,89$ a $0,99$) entre la PP y el tiempo de almacenaje, lo que es concordante con estudios realizados en esta especie por otros autores (Lang y Tao, 1992; Nunes et al., 2004; Chiabrando et al., 2006; Chiabrando et al., 2009; Duarte et al., 2009; Paniagua et al., 2013 y 2014; Concha-Meyer et al., 2015; Moggia et al., 2017; Chu et al., 2018); algo similar ocurre en otras especies como tomate (Shirazi y Cameron, 1993; Bouzo y Gariglio, 2016), pimentón (Lownds et al., 1993; Lownds et al., 1994; Banaras et al., 1994), duraznos (Whitelock et al., 1994), manzanas (Veraverbeke et al., 2003) y cranberry (Forney, 2008).

La HR influyó de forma inversamente proporcional y lineal sobre las variables PP, PH_2O , PPA del tratamiento Control, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las cuatro condiciones de HR (Cuadro 4.2). Respecto a la PP, al disminuir la HR de la máxima a la mínima obtenidas en los ensayos (97 a 35%), se aprecia que los cvs. 'Duke' y 'Legacy' fueron más sensibles (13,4 y 17,4 veces mayor PP entre ambas condiciones, respectivamente) que 'Brigitta' y 'Ochlockonee' (8,4 y 8,3 veces mayor, respectivamente). Similar es el comportamiento para 'Duke' y 'Legacy' al disminuir de 96,8 a 84,3 % de HR, que nuevamente fueron más susceptibles (5,7 y 6,1 veces mayor, respectivamente) que 'Brigitta' y 'Ochlockonee' (3,9 y 4,2 veces mayor, respectivamente). Las diferencias reportadas, responderían a la variabilidad genotípica en la respuesta a incrementos del déficit de presión de vapor (DPV), que genera un movimiento de vapor de agua desde la fruta hasta el aire que la rodea (Ben-Yehoshua y Rodov, 2003); la primera ley de Fick señala que el movimiento o difusión de cualquier sustancia, ocurre desde un lugar de mayor potencial de soluto a otro adyacente y de menor concentración, de forma espontánea y sin requerir energía adicional (Nobel, 2009). Cuando las diferencias varietales se estudiaron bajo un escenario más realista dentro de la industria, con HR de 84,3 % o menores, 'Duke' registró aproximadamente el doble de PP, PH_2O y PPA que el resto de los cultivares (Cuadro 4.2); en parte la explicación podría estar asociada a las características morfológicas de la fruta de 'Duke', que presentó la mayor relación superficie por volumen (junto con 'Ochlockonee') (Lownds et al., 1993; Banaras et al., 1994; Moggia et al., 2016) y superficie por peso (Cuadro 4.1) (Díaz-Pérez, 1998; Díaz-Pérez et al., 2007). Adicionalmente, 'Duke' y 'Ochlockonee' son los cvs. con la mayor relación sólidos solubles/acidez titulable (Cuadro 4.1).

La HR también influyó sobre la FF y PF del tratamiento control (Cuadro 4.2), donde en la FF esta relación fue directamente proporcional y lineal con coeficientes de correlación que variaron entre 0,89 a 0,96 entre los cultivares (datos no se incluyen). Mientras que, tal como se mencionó

anteriormente para la PP, PH_2O y PPA, entre la PF y la HR mostró una relación inversamente proporcional y lineal, y con coeficientes de correlación que fluctuaron entre -0,90 a -0,99 (datos no se incluyen). Adicionalmente se observó que, al disminuir de 96,8 % a 84,3 % de HR, la FF se reduce entre 0,8 a 0,9 veces en los cultivares. Sin embargo, en la PF se detectó que los cvs. 'Duke' y 'Legacy' fueron los más sensibles (5,7 y 2,8 veces mayor, respectivamente), a diferencia de 'Brigitta' y 'Ochlockonee' que es 1,1 veces mayor en ambos cultivares.

La pérdida de firmeza se ha relacionado directamente con la pérdida de peso (Paniagua et al., 2014; Chen et al., 2017). En este estudio las relaciones de entre PP y FF del tratamiento Control fluctuaron entre $R_2 = 0,54$ y $0,94$; siendo las más altas en 'Duke' y 'Legacy' ($0,94$ y $0,89$, respectivamente). Dichos valores son similares a la relación descrita por Paniagua et al. (2013), entre la firmeza (N) y la pérdida de peso (%), en frutos de arándano de *V. ashei* cv. 'Centurion'. Sin embargo para el cv. 'Ochlockonee' (*V. ashei*) la asociación fue baja ($R_2=0,54$), y presentó la menor pendiente entre los cultivares, evidenciando poco cambio en PP en función de cambios en la FF del fruto, respecto de los otros cvs. (*V. corymbosum*).

5.2. Importancia de las estructuras del fruto de arándano en la pérdida de agua

La pérdida de peso o agua en arándanos ocurre a través de las distintas estructuras externas del fruto (cicatriz pedicelar y calicinal, epidermis y ceras/"*bloom*"), puesto que, en la cutícula de éstos no existen estomas (Eames y MacDaniels, 1947; Gough, 1994). Así por ejemplo, al sellar la cicatriz calicinal (T3), las pendientes de pérdidas de agua (PPA) fueron muy similares al tratamiento control, lo que permitió determinar que esta no sería una barrera relevante en la deshidratación del fruto (Cuadro 4.3). Esto se contrapone, por ejemplo, a lo observado en frutos de berenjena (*S. melongena*), donde el cáliz presenta una tasa de transpiración de 18 veces mayor que la de la cutícula y representa el 65 % de pérdida de agua de toda la fruta (Díaz-Pérez, 1998) o en frutos de pimentón (*C. annuum* L.) con un 26 % (Díaz-Pérez et al., 2007). Cuando se pintó el fruto y se dejó la cicatriz calicinal sin sellar (T6), la PPA del fruto disminuyó drásticamente respecto del control (45 a 71 %). A pesar de que en este tratamiento se forzó a que el agua difundiera por la estructura que quedó sin pintar, los cambios de pendiente alcanzados no difieren drásticamente del tratamiento en donde se pintó el fruto completo (T1), reafirmando que el cáliz es una vía que podría considerarse despreciable frente al resto de las evaluadas. A pesar de ello, existen diferencias varietales importantes en T1 y T6; 'Duke' (71 – 79 %), seguido por 'Legacy', 'Ochlockonee' y 'Brigitta' (63 – 69, 59 – 68 y 45 – 47 %, respectivamente).

Por el contrario, al sellar la cicatriz pedicelar (T2) o ambas cicatrices (T4), ocurrió una disminución significativa en la PPA respecto del Control. La mayor reducción se registró en 'Legacy' (44 a 46 %), seguida por 'Brigitta' (27 a 28 %) y 'Ochlockonee' (28 %), siendo 'Duke' la

menos beneficiada respecto del Control (16 a 20 %). Esto es coincidente con estudios anteriores, donde la cicatriz pedicelar, a pesar de representar menos del 1 % de superficie total de la baya, fue causante de un 39 a 67 % de la pérdida de agua de frutos individuales mantenidos durante 15 días a 0 °C y 88 % HR (Moggia et al., 2017). No obstante lo anterior, cuando se observa el efecto del movimiento forzado hacia la cicatriz pedicelar (T5: fruto completamente cubierto excepto cicatriz pedicelar), 'Duke' es la que se ve más favorecida (47 %), seguida de 'Ochlockonee', 'Legacy' y 'Brigitta' (35, 17 y 7 %, respectivamente).

Otra barrera presente en la fruta corresponde a las ceras y como es sabido, su presencia se encuentra negativamente relacionadas con la pérdida de agua (Banaras et al., 1994). Como ya ha sido reportado en arándanos, cuando el "*bloom*" es retirado de la fruta, se estimula la pérdida de agua hasta en un 50 %, (Chu et al., 2018), resultados similares a los observados en este trabajo para T7; el cultivar más desfavorecido fue 'Brigitta' (54 %) y el menos sensible 'Ochlockonee' (14 %), siendo 'Duke' y 'Legacy' intermedios (35 y 37 %, respectivamente). En otras especies como en frutos de cerezo, las ceras representan un 97,9 % de la resistencia al movimiento de agua (Knoche et al., 2000), sin embargo su composición modularía el grado de resistencia al movimiento del agua (Riederer y Schneider, 1990). Esto se debe a que los triterpenoides forman una fracción amorfa que corresponden a zonas por las cuales se movería el agua (Casado y Heredia, 1999). Por el contrario, los compuestos alifáticos de las ceras son la principal barrera a la pérdida de agua, como se ha observado en frutos de uva (Grncarevic y Radler, 1967), tomate (Vogg et al., 2004) y pimenton (Parsons et al., 2012; Parsons et al., 2013), ya que estos forman zonas cristalinas que son impermeables al agua (Riederer y Schneider, 1990). En este sentido, los triterpenoides son el principal componente de las ceras de frutos de arándanos, destacándose el ácido ursólico como el componente más abundante en *V. corymbosum* y *V. ashei* (Chu et al., 2017). Este componente tiene una correlación positiva ($r = 0,96$) con la pérdida de peso, siendo 'Duke' el cv. que tiene entre 2 a 7 veces más contenido de ácido ursólico en comparación con 'Brigitta' (Moggia et al., 2016), lo que explicaría por qué en 'Brigitta', fue más relevante la extracción de ceras que en 'Duke' (54 y 35 %, respectivamente). También 'Duke' se destacó porque, al forzar el movimiento del agua por la cicatriz calicinal (T6) o pedicelar (T5), fue el cultivar que menos agua perdió, sin embargo, cuando se observan aquellos en donde se cubre sólo la cicatriz pedicelar (T2) o ambas cicatrices (T4), fue el que presentó una menor diferencia con el tratamiento control. Lo anterior, además de reforzar la idea de la influencia de las características morfológicas de la fruta, también haría suponer que 'Duke' posee una mayor diferencia en el grosor de su epidermis respecto de los otros cultivares, lo que provocaría una mayor diferencia con el tratamiento control cuando ésta es pintada y que a la vez, la remoción del "*bloom*" sea relevante pero no crítica como lo podría ser en el caso de 'Brigitta'. Adicionalmente, 'Duke' también fue el único cultivar que presentó una interacción significativa

entre tratamientos y la HR evaluada, observándose que en la medida que la HR aumenta desde 35,4 a 96,8 %, la relación de la PPA respecto del Control, disminuye drásticamente de 61 % a 14 %, respectivamente, en el tratamiento en que se remueve el “*bloom*” (T7), llegando a ser ligeramente menor que la relación del tratamiento en que se sella la cicatriz calicinal (T3) a 96,8 % de HR (Anexo 1). Otra interacción, que se observó es con los tratamientos en que se sella solamente la cicatriz pedicelar (T2) y ambas cicatrices (T4), donde, la relación entre la PPA respecto del tratamiento control en T4 es menor que en T2 (35,4 a 67,8 % de HR), pero al aumentar a 84,3 %, esta pasa a ser mayor que en T2 y similar en una condición a 96,8 % de HR (Anexo 1).

5.3. Participación de las estructuras del fruto de arándano en la firmeza final

Similar a lo que ocurre con la pérdida de agua, la firmeza final (FF) de la fruta también fue influenciada por los tratamientos aplicados. Al sellar la cicatriz calicinal (T3), se observó que la FF de la fruta disminuyó respecto del Control, en mayor medida en ‘Brigitta’ (11 %), seguido por ‘Legacy’ (8 %) y ‘Duke’ (5 %), mientras que ‘Ochlockonee’ fue el único cultivar que mostró un aumento del 5 % de la FF. Por el contrario, al sellar la cicatriz pedicelar (T2), la FF respecto del tratamiento control fue mayor, siendo ‘Legacy’ el cultivar más beneficiado (16 %), seguido por ‘Ochlockonee’ (10 %) y ‘Duke’ (8 %). Al sellar ambas cicatrices (T4) en los cultivares ‘Duke’ y ‘Legacy’, esta relación fue aparentemente menor que en T2, donde la FF es mayor en un 6 y 4 %, respectivamente, respecto del Control, lo que podría sugerir un efecto combinado al sellar ambas cicatrices. Por otro lado, al remover las ceras de la fruta (T7), se determinó que ‘Brigitta’ fue el cultivar más sensible, disminuyendo la FF en 24 %, seguido por ‘Duke’ (14 %), ‘Ochlockonee’ (10 %) y ‘Legacy’ (7 %).

Adicionalmente en los cultivares ‘Brigitta’ y ‘Legacy’, ocurrieron interacciones significativas entre los tratamientos aplicados y las condiciones de HR. En ‘Brigitta’ (Anexo 2), dicha interacción sucedió primero al aumentar de 67,8 a 84,3 % de HR, donde el tratamiento en que se sella la cicatriz pedicelar (T2) aumenta la FF (de 2 a 7 %, respectivamente), respecto del tratamiento control, mientras que en el tratamiento en que se sellan ambas cicatrices (T4), la FF disminuye (de 6 a - 6 %, respectivamente), respecto del tratamiento control. Al seguir aumentando la HR a 96,8 %, la FF de T2 y T4 disminuyen drásticamente, siendo un 22 y 26 % menores, respectivamente, en relación al tratamiento control, mientras que el tratamiento en que se sella la cicatriz calicinal (T3), la FF aumenta en 5 %, llegando a ser un 10 % menor respecto del tratamiento control. Estos efectos explicarían, que en ‘Brigitta’ a 96,8 % de HR la FF sea un 20 % menor en relación al tratamiento control (Cuadro 4.4). Cabe destacar que, el tratamiento en que se extraen las ceras (T7), la FF no se vio afectada por el aumento de la HR (Anexo 2), lo que

concuenda con lo mencionado anteriormente respecto a la importancia de esta barrera en la pérdida de peso y ahora en la FF.

Respecto a 'Legacy' (Anexo 3), la interacción ocurre al aumentar la HR de 84,3 a 96,8 %, generando una disminución de la FF en T4 (-4 a -12 %, respectivamente), pero un aumento en los tratamientos, T3 (-13 a -8 %, respectivamente) y T7 (-14 a 0 %, respectivamente), respecto del tratamiento control. También se observó que la FF de T2 disminuye de forma constante al aumentar la HR de 35,4 a 96,8 %, llegando a ser muy similar al tratamiento control.

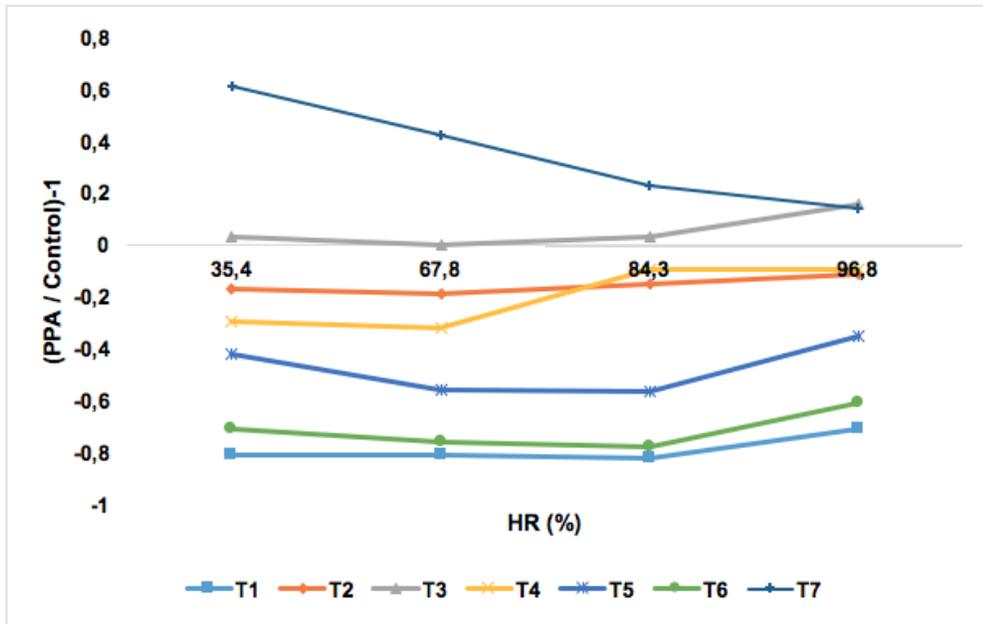
Entre otros posibles factores relacionados a la deshidratación de la fruta y firmeza, no considerados en este estudio, está la morfología de la fruta. A modo de ejemplo, Konarska (2015) señala, la presencia de nectarios en la cicatriz calicinal, forma y tamaño de la cicatriz calicinal, tamaño de la cicatriz pedicelar, al igual que la predominancia de la forma amorfa de las ceras cuticulares junto con abundantes cadenas de micro grietas en la superficie de frutos maduros. Konarska (2015), también observó, espacios vacíos entre células de la epidermis y parenquimáticas del pericarpio, el grosor de la cutícula, lo que podría ser de importancia en 'Duke'. A pesar de que no existen registros de estas características morfológicas en los cultivares evaluados en este ensayo, tal como es el caso de la presencia de nectarios en la cicatriz calicinal y la forma y tamaño de la misma, fue posible apreciar que al sellar la cicatriz calicinal en 'Ochlockonee' a diferencia de los demás cultivares, se observó que la PPA disminuyó en un 10 % respecto del Control (Cuadro 4.3), lo que sugiere una diferencia estructural entre los cultivares. Lo anterior implica que es necesario considerar estos caracteres en estudios futuros para entender de mejor manera la importancia de las distintas estructuras en la vida postcosecha de la fruta.

6. CONCLUSIONES

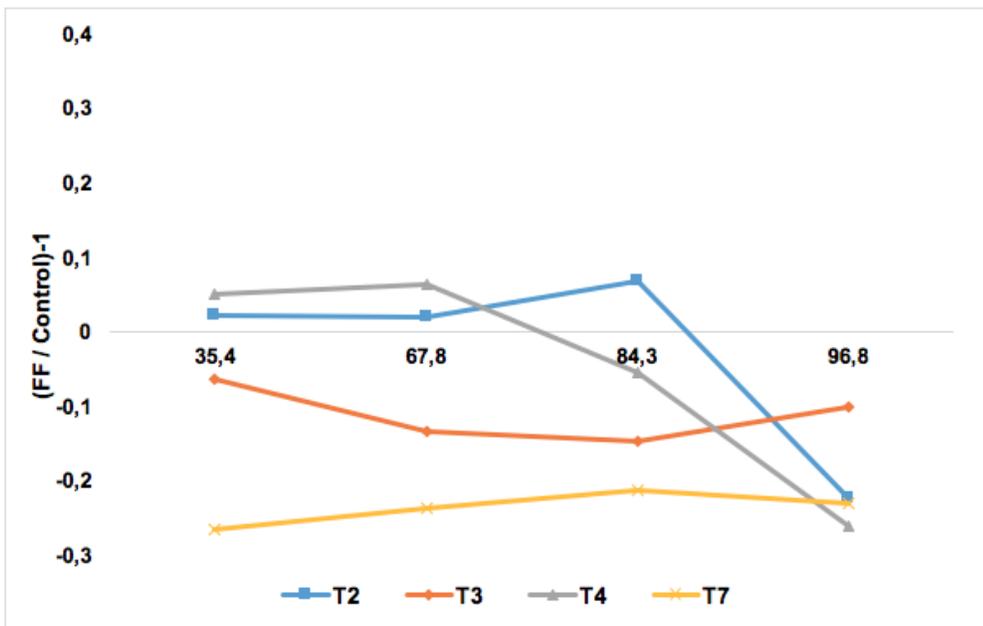
En relación a la hipótesis y objetivos planteados en este ensayo se determinó lo siguiente:

- La cicatriz calicinal no actuó como una barrera importante en la pérdida de agua y firmeza de los cuatro cultivares.
- La cicatriz pedicelar fue de mayor importancia en 'Legacy' reduciendo la pérdida de agua en un 46 % y aumentando la firmeza final en un 16 %.
- La capa cerosa ("*bloom*") fue de mayor relevancia en 'Brigitta', ya que al ser removidas la pérdida de agua aumentó en un 54 % y la firmeza final disminuyó un 24 %.
- La pendiente de la pérdida de agua de las distintas estructuras de la fruta, disminuyó al aumentar la HR, con lo que disminuye su importancia como barrera en la pérdida de agua, siendo una condición ideal de almacenaje sobre 95 % de HR.
- La relación entre el porcentaje de pérdida de firmeza (PF %) y el porcentaje de pérdida de peso (PP %), fue dependiente del cultivar evaluado, obteniéndose una mejor relación en los cvs. 'Duke' y 'Legacy'.
- Es recomendable realizar estudios más acabados de los cultivares evaluados, tales como, grosor celular del pericarpio, tamaño de cicatriz pedicelar y estructuras asociadas (nectarios), composición y arreglo de las ceras, entre otros. Para así poder definir con mayor precisión la importancia de cada una de las estructuras de la fruta en la pérdida de agua.

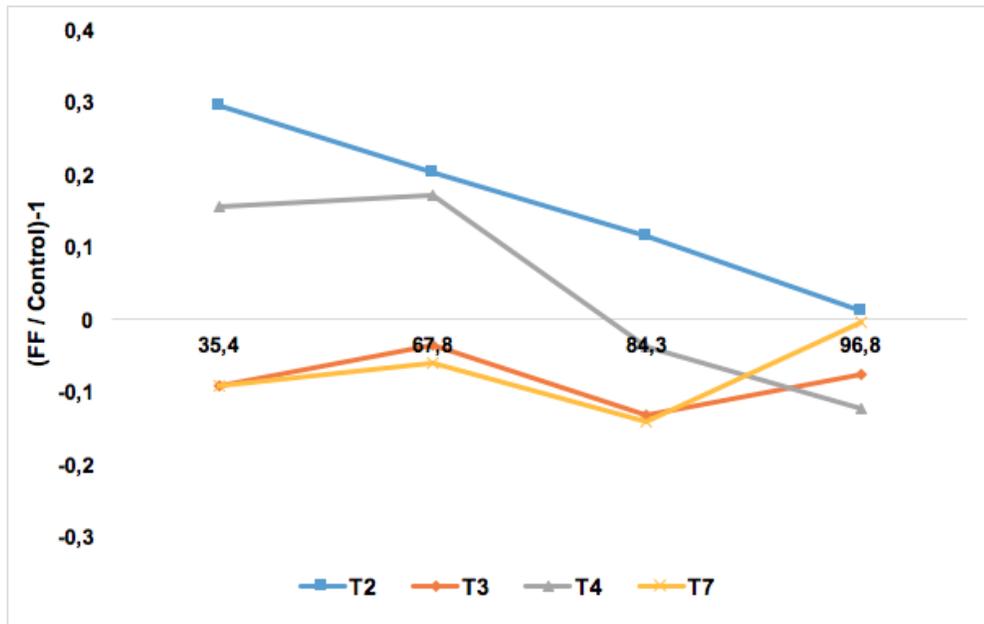
7. ANEXOS



Anexo 1. Interacción significativa ($p < 0,05$) del cultivar 'Duke', en el cambio (%) de la pendiente de pérdida de agua del fruto respecto del tratamiento control ($PPA / Tt \text{ Control} - 1$), para cada condición de humedad relativa.



Anexo 2. Interacción significativa ($p < 0,05$) del cultivar 'Brigitta', en el cambio (%) de la firmeza final de la fruta respecto del tratamiento control ($FF / Tt \text{ Control} - 1$), para cada condición de humedad relativa.



Anexo 3. Interacción significativa ($p < 0,05$) del cultivar ‘Legacy’, en el cambio (%) de la firmeza final de la fruta respecto del tratamiento control ($FF / Tt \text{ Control} - 1$), para cada condición de humedad relativa.



Anexo 4. Tratamientos aplicados en cuatro cultivares de arándano, de izquierda a derecha; tratamiento control (fruto sin pintar); **T1:** fruto pintado completamente; **T2:** sólo cicatriz pedicelar pintada; **T3:** sólo cicatriz calicinal pintada; **T4:** cicatriz pedicelar y calicinal pintadas; **T5:** fruto pintado y sólo cicatriz pedicelar sin pintar; **T6:** fruto pintado y sólo cicatriz calicinal sin pintar; **T7:** fruto sin ceras.



Anexo 5. Unidad experimental de cinco frutos, sobre pequeñas planchas de poliestireno sostenidas sobre una malla plástica rígida (repetición).



Anexo 6. Sistema de impulsión de aire conectado a contenedor con diferentes concentraciones de agua/glicerol, las cuales generaban las condiciones de humedad relativa en caja donde se encontraba contenida la fruta.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abugoch, L., Tapia, C., Plasencia, D., Pastor, A., Castro-Mandujano, O., López, L. y Escalona, V. H. (2016) 'Shelf-life of fresh blueberries coated with quinoa protein/chitosan/sunflower oil edible film', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(2), pp. 619-626.
- Akamine, E. K. y Goo, T. (1973) 'Respiration and ethylene production during ontogeny of fruit', *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 98(4), pp. 381-383.
- Alsmairat, N., Contreras, C., Hancock, J., Callow, P. y Beaudry, R. (2011) 'Use of combinations of commercially relevant O₂ and CO₂ partial pressures to evaluate the sensitivity of nine highbush blueberry fruit cultivars to controlled atmospheres', *HortScience*, 46(1), pp. 74-79.
- Angeletti, P., Castagnasso, H., Miceli, E., Terminiello, L., Concellón, A., Chaves, A. y Vicente, A. R. (2010) 'Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties', *Postharvest Biology and Technology*, 58(2), pp. 98-103.
- 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.
- Bargel, H., Koch, K., Cerman, Z. y Neinhuis, C. (2006) 'Evans Review No. 3: Structure–function relationships of the plant cuticle and cuticular waxes — a smart material?', *Functional Plant Biology*, 33(10), pp. 893-910.
- Bauer, S., Schulte, E. y Thier, H.-P. (2004) 'Composition of the surface wax from tomatoes', *European Food Research and Technology*, 219(3), pp. 223-228.
- Beaudry, R. M., Cameron, A. C., Shirazi, A. y Dostal-Lange, D. L. (1992) 'Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit: effect of temperature on package O₂ and CO₂', *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(3), pp. 436-441.
- Beaudry, R. M., Moggia, C. E., Retamales, J. B. y Hancock, J. F. (1998) 'Quality of 'Ivanhoe' and 'Bluecrop' Blueberry Fruit Transported by Air and Sea from Chile to North America', *HortScience*, 33(2), pp. 313-317.
- Becker, M., Kerstiens, G. y Schoenherr, J. (1986) 'Water permeability of plant cuticles: permeance, diffusion and partition coefficients', *Trees*, 1(1), pp. 54-60.
- 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), pp. 340-350.
- Belding, R. D., Blankenship, S. M., Young, E. y Leidy, R. B. (1998) 'Composition and variability of epicuticular waxes in apple cultivars', *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(3), pp. 348-356.
- Ben-Yehoshua, S. y Rodov, V. (2003) 'Transpiration and water stress', *Postharvest physiology and pathology of vegetables*, pp. 111-159.
- Bergman, H. F. (1929) 'Changes in the rate of respiration of the fruits of the cultivated blueberry during ripening', *Science*, 70(1801), pp. 15.
- Beyer, M. y Knoche, M. (2002) 'Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: V. Conductance for water uptake', *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(3), pp. 325-332.
- Beyer, M., Lau, S. y Knoche, M. (2005) 'Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: IX. Comparing permeability in water uptake and transpiration', *Planta*, 220(3), pp. 474-485.
- Biale, J. B. (1961) 'The Postharvest Biochemistry Of Tropical And Subtropical Fruits', in Mrak, C.O.C.a.E.M. (ed.) *Advances in Food Research: Academic Press*, pp. 293-354.
- Biale, J. B., Young, R. E. y Olmstead, A. J. (1954) 'Fruit Respiration and Ethylene Production', *Plant Physiology*, 29(2), pp. 168-174.
- Bouzo, C. y Gariglio, N. (2016) 'Relationship between different physical properties of tomato fruits and water loss during postharvest', *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 15(1), pp. 13-25.
- Burg, S. P. y Burg, E. A. (1962) 'Role of ethylene in fruit ripening', *Plant Physiology*, 37(2), pp. 179.

- Burzo, I. (1980) 'Influence of temperature level on respiratory intensity in the main vegetables varieties'. Symposium on Postharvest Handling of Vegetables 116, 61-64.
- Buschhaus, C. y Jetter, R. (2011) 'Composition differences between epicuticular and intracuticular wax substructures: How do plants seal their epidermal surfaces?', *Journal of Experimental Botany*, 62(3), pp. 841-853.
- Cameron, A. C., Beaudry, R. M., Banks, N. H. y Yelanich, M. V. (1994) 'Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit: modeling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature', *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(3), pp. 534-539.
- 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), pp. 21-23.
- Cappellini, R. y Ceponis, M. (1977) 'Vulnerability of stem-end scars of blueberry fruits to postharvest decays', *Phytopathology*, 67(1), pp. 118-119.
- 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), pp. 175-182.
- Chen, H., Cao, S., Fang, X., Mu, H., Yang, H., Wang, X., Xu, Q. y Gao, H. (2015) 'Changes in fruit firmness, cell wall composition and cell wall degrading enzymes in postharvest blueberries during storage', *Scientia Horticulturae*, 188, pp. 44-48.
- Chen, Y., Hung, Y.-C., Chen, M., & Lin, H. (2017). 'Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage'. *LWT*, 84, 650–657.
- Chiabrand, V. y Giacalone, G. (2015) 'Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity after fresh storage of blueberry treated with edible coatings', *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(3), pp. 248-253.
- Chiabrand, V., Giacalone, G. y Rolle, L. (2009) 'Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(6), pp. 989-992.
- Chiabrand, V., Peano, C., Beccaro, G., Bounous, G. y Rolle, L. (2006) 'Postharvest quality of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars in relation to storage methods'. *International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, 545-552.
- ChileanBlueberryCommittee (2019) 'Exportaciones de arándanos de Chile, semanales y acumuladas'. Disponible en: <http://www.cbcc.iqonsulting.com/index.php> (Consultado 13.05.2019).
- 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, pp. 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 (2016) 'Catastro Frutícola Principales Resultado Región del Maule'. Disponible en: http://www.odepa.gob.cl/documentos_informes/catastro-fruticola-ciren-odepa/.
- Concha-Meyer, A., Eifert, J. D., Williams, R. C., Marcy, J. E. y Welbaum, G. E. (2015) 'Shelf Life Determination of Fresh Blueberries (*Vaccinium corymbosum*) Stored under Controlled Atmosphere and Ozone', *International Journal of Food Science*, 2015, pp. 9.
- 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.
- Díaz-Pérez, J. C. (1998) 'Transpiration rates in eggplant fruit as affected by fruit and calyx size', *Postharvest Biology and Technology*, 13(1), pp. 45-49.
- Domínguez, E., Cuartero, J. y Heredia, A. (2011a) 'An overview on plant cuticle biomechanics', *Plant Science*, 181(2), pp. 77-84.
- Domínguez, E., Heredia-Guerrero, J. A. y Heredia, A. (2011b) 'The biophysical design of plant cuticles: an overview', *New phytologist*, 189(4), pp. 938-949.
- Duarte, C., Guerra, M., Daniel, P., Camelo, A. L. y Yommi, A. (2009) 'Quality changes of highbush blueberries fruit stored in CA with different CO₂ levels', *Journal of food science*, 74(4), pp. S154-S159.

- Díaz-Pérez, J. C., Muy-Rangel, M. D. y Mascorro, A. G. (2007) 'Fruit size and stage of ripeness affect postharvest water loss in bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.)', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(1), pp. 68-73.
- Eames, A. J. y MacDaniels, L. H. (1947) *An introduction to plant anatomy*. 2nd ed. edn. London and New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Ehlenfeldt, M. K. y Martin, R. B. (2002) 'A survey of fruit firmness in highbush blueberry and species-introgressed blueberry cultivars', *HortScience*, 37(2), pp. 386-389.
- El-Agamy, S., Aly, M. y Biggs, R. (1982) 'Fruit maturity as related to ethylene in 'Delite'blueberry'. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 245-246.
- 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.
- Forney, C. F. (2008) 'Optimizing the storage temperature and humidity for fresh cranberries: a reassessment of chilling sensitivity', *HortScience*, 43(2), pp. 439-446.
- Forney, C. F. (2009) 'Postharvest issues in blueberry and cranberry and methods to improve market-life'. *International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, 785-798.
- Forney, C. F. y Brandl, D. G. (1992) 'Control of humidity in small controlled-environment chambers using glycerol-water solutions', *HortTechnology*, 2(1), pp. 52-54.
- Frenkel, C. (1972) 'Involvement of Peroxidase and Indole-3-acetic Acid Oxidase Isozymes from Pear, Tomato, and Blueberry Fruit in Ripening', *Plant Physiology*, 49(5), pp. 757-763.
- Gough, R. (1994). 'The highbush blueberry and its management'. *Food Products Press*. Haworth Press Inc., Binghamton, NY (272 pp).
- Grncarevic, M. y Radler, F. (1967) 'The effect of wax components on cuticular transpiration-model experiments', *Planta*, 75(1), pp. 23-27.
- Hagger, P., Lee, D. y Yam, K. (1992) 'Application of an enzyme kinetics based respiration model to closed system experiments for fresh produce', *Journal of Food Process Engineering*, 15(2), pp. 143-157.
- Hall, I. y Forsyth, F. (1967) 'Respiration rates of developing fruits of the lowbush blueberry', *Canadian Journal of Plant Science*, 47(2), pp. 157-159.
- Heredia, A. (2003) 'Biophysical and biochemical characteristics of cutin, a plant barrier biopolymer', *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1620(1), pp. 1-7.
- 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.
- Jetter, R., Kunst, L. y Samuels, A. L. (2006) 'Composition of Plant Cuticular Waxes', *Annual Plant Reviews Volume 23: Biology of the Plant Cuticle*: Blackwell Publishing Ltd, pp. 145-181.
- 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, pp. 311-325.
- Kissinger, M., Tuvia-Alkalai, S., Shalom, Y., Fallik, E., Elkind, Y., Jenks, M. A. y Goodwin, M. S. (2005) 'Characterization of physiological and biochemical factors associated with postharvest water loss in ripe pepper fruit during storage', *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(5), pp. 735-741.
- Knoche, M., Peschel, S., Hinz, M. y Bukovac, M. J. (2000) 'Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: characterizing conductance of the cuticular membrane using pericarp segments', *Planta*, 212(1), pp. 127-135.
- Kolattukudy, P. E. (2001) 'Polyesters in higher plants', *Biopolyesters*: Springer, pp. 1-49.
- Konarska, A. (2015) 'Development of fruit quality traits and comparison of the fruit structure of two *Vaccinium corymbosum* (L.) cultivars', *Scientia Horticulturae*, 194, pp. 79-90.
- Kunst, L. y Samuels, L. (2009) 'Plant cuticles shine: advances in wax biosynthesis and export', *Current Opinion in Plant Biology*, 12(6), pp. 721-727.
- Lang, G. A. y Tao, J. (1992) 'Postharvest performance of southern highbush blueberry fruit', *HortTechnology*, 2(3), pp. 366-370.

- Lara, I., Belge, B. y Goulao, L. F. (2014) 'The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality', *Postharvest Biology and Technology*, 87, pp. 103-112.
- 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, pp. 26-35.
- Lownds, N., Banaras, M. y Bosland, P. (1993) 'Relationships between postharvest water loss and physical properties of pepper fruit (*Capsicum annuum* L.)', *HortScience*, 28(12), pp. 1182-1184.
- Lownds, N., Banaras, M. y Bosland, P. (1994) 'Postharvest water loss and storage quality of nine pepper (*Capsicum*) cultivars', *HortScience*, 29(3), pp. 191-193.
- Martin, L. B. y Rose, J. K. (2014) 'There's more than one way to skin a fruit: formation and functions of fruit cuticles', *Journal of experimental botany*, 65(16), pp. 4639-4651.
- Mitcham, B., Cantwell, M. y Kader, A. (1996) 'Methods for determining quality of fresh commodities', 85, pp. 1-5.
- Moggia, C., Beaudry, R. M., Retamales, J. B. y Lobos, G. A. (2017) '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, pp. 88-96.
- Moggia, C., Graell, J., Lara, I., Schmeda-Hirschmann, G., Thomas-Valdés, S. y Lobos, G. A. (2016) 'Fruit characteristics and cuticle triterpenes as related to postharvest quality of highbush blueberries', *Scientia Horticulturae*, 211, pp. 449-457.
- Muñoz, M. (2019) 'Boletín Fruta Fresca. Abril de 2019'. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletin-de-fruta-fresca-abril-de-2019> (Consultado 13.05.2019).
- NeSmith, D. S., Prussia, S., Tetteh, M. y Krewer, G. (2002) 'Firmness losses of rabbiteye blueberries (*Vaccinium ashei* Reade) during harvesting and handling'. *International Society for Horticultural Science (ISHS)*, Leuven, Belgium, 287-293.
- Nobel, P. S. (2009) 'Chapter 1 - Cells and Diffusion', *Physicochemical and Environmental Plant Physiology (Fourth Edition)*. San Diego: Academic Press, pp. 2-43.
- Nunes, C. y Emond, J.-P. (2007) 'Relationship between weight loss and visual quality of fruits and vegetables'. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 235-245.
- Nunes, M. C. N., Emond, J.-P. y Brecht, J. K. (2004) 'Quality curves for highbush blueberries as a function of the storage temperature', *Small fruits review*, 3(3-4), pp. 423-440.
- Nunez-Barrios, A., Nesmith, D. S., Chinnan, M. y Prussia, S. E. (2005) 'Dynamics of rabbiteye blueberry fruit quality in response to harvest method and postharvest handling temperature', *Small Fruits Review*, 4(2), pp. 73-81.
- 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, pp. 50-59.
- Paniagua, A. C., East, A. R., Hindmarsh, J. P. y Heyes, J. A. (2013) 'Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry', *Postharvest Biology and Technology*, 79, pp. 13-19.
- Parsons, E. P., Popovskiy, S., Lohrey, G. T., Alkalai-Tuvia, S., Perzelan, Y., Bosland, P., Bebeli, P. J., Paran, I., Fallik, E. y Jenks, M. A. (2013) 'Fruit cuticle lipid composition and water loss in a diverse collection of pepper (*Capsicum*)', *Physiologia plantarum*, 149(2), pp. 160-174.
- Parsons, E. P., Popovskiy, S., Lohrey, G. T., Lü, S., Alkalai-Tuvia, S., Perzelan, Y., Paran, I., Fallik, E. y Jenks, M. A. (2012) 'Fruit cuticle lipid composition and fruit post-harvest water loss in an advanced backcross generation of pepper (*Capsicum* sp.)', *Physiologia plantarum*, 146(1), pp. 15-25.
- Perkins-Veazie, P. (2016) 'Blueberry', *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. Agriculture Handbook*, 66, pp. 240-242.
- Peschel, S., Franke, R., Schreiber, L. y Knoche, M. (2007) 'Composition of the cuticle of developing sweet cherry fruit', *Phytochemistry*, 68(7), pp. 1017-1025.

- Pieniazek, S. (1944) 'Physical characters of the skin in relation to apple fruit transpiration', *Plant physiology*, 19(3), pp. 529.
- Proctor, A. y Miesle, T. J. (1991) 'Polygalacturonase and pectinmethylesterase activities in developing highbush blueberries', *HortScience*, 26(5), pp. 579-581.
- Proctor, A. y Peng, L. C. (1989) 'Pectin transitions during blueberry fruit development and ripening', *Journal of Food Science*, 54(2), pp. 385-387.
- Radler, F. y Horn, D. (1965) 'The composition of grape cuticle wax', *Australian Journal of Chemistry*, 18(7), pp. 1059-1069.
- Reid, M. S. y Pratt, H. K. (1970) 'Ethylene and the Respiration Climacteric', *Nature*, 226(5249), pp. 976-977.
- Remberg, S. F., Rosenfeld, H. J., Haffnier, K., Gronnerod, K. y Lea, P. (2006) 'Characterization of quality parameters of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars'. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 559-566.
- 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, pp. 58-67.
- Riederer, M. y Schneider, G. (1990) 'The effect of the environment on the permeability and composition of Citrus leaf cuticles: II. Composition of soluble cuticular lipids and correlation with transport properties', *Planta*, 180(2), pp. 154-165.
- Rodov, V., Ben-Yehoshua, S., Fierman, T. y Fang, D. (1995) 'Modified-humidity Packaging Reduces Decay of Harvested Red Bell Pepper Fruit', *HortScience*, 30(2), pp. 299-302.
- Saltveit, M. E. (2016) 'Respiratory metabolism', *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. Agriculture Handbook*, 66, pp. 68-75.
- Samuels, L., Kunst, L. y Jetter, R. (2008) 'Sealing plant surfaces: cuticular wax formation by epidermal cells', *Plant Biology*, 59(1), pp. 683.
- Sanford, K., Lidster, P., McRae, K., Jackson, E., Lawrence, R., Stark, R. y Prange, R. (1991) 'Lowbush blueberry quality changes in response to mechanical damage and storage temperature', *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(1), pp. 47-51.
- Schönherr, J. (1976a) 'Water permeability of isolated cuticular membranes: the effect of cuticular waxes on diffusion of water', *Planta*, 131(2), pp. 159-164.
- Schönherr, J. (1976b) 'Water Permeability of Isolated Cuticular Membranes: The Effect of pH and Cations on Diffusion, Hydrodynamic Permeability and Size of Polar Pores in the Cutin Matrix', *Planta*, 128(2), pp. 113-126.
- Shirazi, A. y Cameron, A. C. (1992) 'Controlling relative humidity in modified atmosphere packages of tomato fruit', *HortScience*, 27(4), pp. 336-339.
- Shirazi, A. y Cameron, A. C. (1993) 'Measuring transpiration rates of tomato and other detached fruit', *HortScience*, 28(10), pp. 1035-1038.
- Song, Y., Kim, H. K. y Yam, K. L. (1992) 'Respiration rate of blueberry in modified atmosphere at various temperatures', *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(6), pp. 925-929.
- Tano, K., Kamenan, A. y Arul, J. (2005) 'Respiration and transpiration characteristics of selected fresh fruits and vegetables', *Agronomie africaine*, 17(2), pp. 103-115.
- Veraverbeke, E. A., Verboven, P., Van Oostveldt, P. y Nicolai, B. M. (2003) 'Prediction of moisture loss across the cuticle of apple (*Malus sylvestris* subsp. *mitis* (Wallr.)) during storage: part 2. Model simulations and practical applications', *Postharvest Biology and Technology*, 30(1), pp. 89-97.
- Vicente, A. R., Ortugno, C., Rosli, H., Powell, A. L. T., Greve, L. C. y Labavitch, J. M. (2007) 'Temporal Sequence of Cell Wall Disassembly Events in Developing Fruits. 2. Analysis of Blueberry (*Vaccinium* Species)', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), pp. 4125-4130.
- Vogg, G., Fischer, S., Leide, J., Emmanuel, E., Jetter, R., Levy, A. A. y Riederer, M. (2004) 'Tomato fruit cuticular waxes and their effects on transpiration barrier properties: functional characterization of a mutant deficient in a very-long-chain fatty acid β -ketoacyl-CoA synthase', *Journal of Experimental Botany*, 55(401), pp. 1401-1410.

- 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.
- Yang, W. Q., Harpole, J., Finn, C. E. and Strik, B. C. (2009) 'Evaluating berry firmness and total soluble solids of newly released highbush blueberry cultivars'. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 863-868.
- Yeats, T. H. y Rose, J. (2013) 'The formation and function of plant cuticules', Plant Physiol. 163, pp 5-20.