

Calidad en arándanos:

bases fisiológicas y tecnológicas para
el manejo de cosecha y postcosecha

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Boletín INIA / N° 477

ISSN 0717-4829



Calidad en arándanos:

bases fisiológicas y tecnológicas para el manejo de cosecha y postcosecha

Editores:

Bruno Defilippi Bruzzone,
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Pablo Ulloa Fuentes,
Ingeniero de Alimentos, Dr.

INIA LA PLATINA
Santiago, Chile, 2023
BOLETÍN INIA Nº 477

ISSN 0717 - 4829



Editores:

Bruno Defilippi Bruzzone, Ingeniero Agrónomo, Ph.D., INIA La Platina
Pablo Ulloa Fuentes, Ingeniero de Alimentos, Dr., INIA La Platina

Comité Editor:

Daniela Olivares Zapata, Ingeniera en Biotecnología Molecular, Dra.
Abel González Gelvez, Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
Reinaldo Campos Vargas, Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Jorge Esquivel Manterola, Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Director Regional INIA La Platina

Bruno Defilippi Bruzzone, Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Boletín INIA N°477

ISSN 0717 - 4829

ISBN 978-956-7016-57-0

Número de Registro de Propiedad Intelectual: 2023-A-1371

Cita bibliográfica correcta:

Defilippi, B. y Ulloa, P. (eds.) (2023). Calidad en arándanos: bases fisiológicas y tecnológicas para el manejo de cosecha y postcosecha. Boletín INIA N° 477. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA La Platina. Santiago, Chile. 126 p.

© 2023. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación INIA La Platina, Avenida Santa Rosa 11610, La Pintana, Santiago. Región Metropolitana. Teléfono: 56-225779102.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y/o autores.

Diseño y diagramación: Jorge Berríos V., Diseñador Gráfico

Impresor: A IMPRESORES S.A.

Cantidad de ejemplares: 1.000

Santiago, Chile, 2023.

Agradecimientos

El contenido de este boletín corresponde al trabajo realizado en el proyecto **Paquete Tecnológico para el Manejo de Cosecha y Postcosecha de Nuevas Variedades de Recambio de Arándanos**, financiado por el Programa Tecnológico para la Fruticultura de Exportación (Código 16PTEC FS-66641) de Corporación de Fomento de la Producción (Corfo). Iniciativa, desarrollada en conjunto por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), la Universidad de Concepción, y el Comité de Arándanos de Chile de la Asociación de Exportadores de Frutas de Chile A.G. (Asoex).

Se agradece el gran apoyo de los productores involucrados en el proyecto, destacando a exportadora Niceblue (Jorge Pollmann) en la Región del Maule, y agrícola AgroCamelio (Liliana Camelio), en la Región de la Araucanía. En ambos lugares se establecieron las unidades demostrativas que permitieron generar la información de pre y postcosecha.

También, agradecer el apoyo de otras fuentes de financiamiento que permitieron complementar y ampliar estudios en arándano:

- En el área de envases activos destaca el proyecto de investigación financiado por el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF, ANID) código IDEA ID20110197 **“Dispositivo generador de compuestos volátiles de origen bacteriano para reducir las pérdidas ocasionadas por *botrytis* en arándanos: una alternativa sostenible para llegar a mercados distantes”**. El apoyo de empresas como Quimas S.A., exportadora Best Berry, exportadora Niceblue y Agrícola Los Silos fue fundamental para el desarrollo de esta iniciativa.
- Complementando el área de tecnologías emergentes, se destaca el apoyo del proyecto **“Desarrollo de un dispositivo biodegradable/compostable con capacidad antifúngica para prolongar la vida de útil de arándanos destinados a mercados distantes”**, financiado por la Subsecretaría de Agricultura.

Listado de Autores

Edgard Álvarez Rivera

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
INIA La Platina
edgar.alvarez@inia.cl

Pedro Contreras Ñanculeo

Técnico Agrícola
INIA La Platina
pedro.contreras@inia.cl

Bruno Defilippi Bruzzone

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
INIA La Platina
bdefilip@inia.cl

Abel González Gelvez

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
INIA Carillanca
abel.gonzalez@inia.cl

Rafael Galdames Gutiérrez

Ingeniero Agrónomo, Dr.
INIA Carillanca
rgaldame@inia.cl

Rosa Molina Muñoz

Técnico Industrial (men. Química)
INIA La Platina
rmolina@inia.cl

Gabriel Neumann Langdon

Ingeniero Agrónomo
INIA Carillanca
gabriel.neumann@inia.cl

Daniela Olivares Zapata

Ingeniera en Biotecnología Molecular, Dra.
INIA La Platina
olivaresdaniela@gmail.com

Sebastián Rivera Smith

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Massey University
s.riverasmith@massey.ac.nz

Iverly Romero Mendoza

Ingeniera Agrónoma, M.Sc.
INIA Carillanca
iverly.romero@inia.cl

Belén Trejo Ilabaca

Ingeniera Agrónoma
INIA La Platina
batrejo@uc.cl

Pablo Ulloa Fuentes

Ingeniero de Alimentos, Dr.
INIA La Platina
pablo.ulloa@inia.cl

Sebastián Vargas Castillo

Técnico Agrícola
INIA La Platina
sebastian.vargas@umayor.cl

Camilo Vásquez Méndez

Ingeniero Agrónomo
INIA La Platina
crvasquez@uc.cl

Índice

Prólogo	7
Capítulo 1	
Bases fisiológicas de la postcosecha de arándano	9
<i>Bruno Defilippi B. y Pablo Ulloa F.</i>	
Capítulo 2	
Atributos de calidad e índices de madurez y cosecha	19
<i>Iverly Romero M., Bruno Defilippi B., Edgard Álvarez R. y Abel González G.</i>	
Capítulo 3	
Uso de cobertura y su efecto en postcosecha	39
<i>Abel González G., Iverly Romero M., Edgard Álvarez R., Gabriel Neumann L. y Bruno Defilippi B.</i>	
Capítulo 4	
Logística de cosecha para producir materia prima con potencial de postcosecha	61
<i>Edgard Álvarez R., Pedro Contreras Ñ., Sebastián Vargas, C., Camilo Vásquez M., Bruno Defilippi B.</i>	
Capítulo 5	
Productividad de mano de obra a cosecha	75
<i>Abel González G., Iverly Romero M. y Gabriel Neumann L.</i>	
Capítulo 6	
Tecnologías de postcosecha para arándano: avances y optimización para envíos distantes	95
<i>Bruno Defilippi B., Pablo Ulloa F., Edgard Álvarez R., Belén Trejo, I., Daniela Olivares Z., Rosa Molina M. y Sebastián Rivera S.</i>	
Capítulo 7	
Enfermedades en postcosecha y su manejo preventivo	115
<i>Rafael Galdames G. y Bruno Defilippi B.</i>	

Prólogo

Chile es mundialmente reconocido como uno de los principales proveedores de fruta fresca, y dentro de la oferta de frutas, en arándanos el país ha sido uno de los líderes en destinar su producción a consumidores en Norte América, Europa, y Asia. Este reconocimiento como oferente de fruta de calidad ha implicado un trabajo en conjunto entre todos los agentes involucrados en la desafiante cadena de valor, llegando a mercados tan distantes como el asiático.

Producir arándanos de calidad óptima en forma permanente, sin dudas es un desafío mayor y, por lo tanto, productores y exportadores deben desarrollar y adaptar tecnologías y manejos para abordar una serie de factores que afectan la productividad y calidad de un huerto, incluyendo el recambio de variedades, la protección del huerto frente a eventos climáticos en etapas críticas, y responder frente a los desafíos de logística de cosecha y postcosecha para llegar a mercados cada vez más exigentes.

Para abordar estos desafíos, el trabajo en conjunto entre la industria y los centros de investigación y universidades ha sido fundamental, y en este contexto se desarrolló el proyecto **Paquete Tecnológico para el Manejo de Postcosecha de Nuevas Variedades de Recambio de Arándanos**, financiado por el Programa Tecnológico para la Fruticultura de Exportación (Código 16PTEC FS-66641) de Corfo. Iniciativa, desarrollada en conjunto por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), la Universidad de Concepción y el Comité de Arándanos de Chile de la Asociación de Exportadores de Frutas de Chile A.G. (Asoex), tuvo por objetivo desarrollar el conocimiento necesario para abordar soluciones prácticas orientadas a enfrentar el recambio de variedades y el uso de sistemas de protección de cultivo, desde la precosecha hasta la obtención de fruta de calidad a nivel de consumidor.

Este boletín, titulado **Calidad en Arándanos: Bases Fisiológicas y Tecnologías para el Manejo de Cosecha y Postcosecha**, organizado en siete capítulos, permitirá a productores, exportadores, proveedores de insumos e interesados en

la temática, entender las bases de conocimiento para utilizar y desarrollar las tecnologías y manejos necesarios para la obtención de un arándano de calidad óptima.

Es importante destacar que la información que se presenta en esta publicación fue generada a través del valioso trabajo de un gran equipo de personas, perteneciente tanto a las instituciones ejecutoras como a las asociadas al proyecto, permitiendo la generación de capacidades instaladas de infraestructura y equipos, pero sobre todo la formación de capital humano necesarios para abordar los desafíos que enfrenta la industria de arándano en todas sus etapas.

Finalmente agradecer el gran apoyo de los productores y exportadores involucrados en el proyecto, ya que justamente el principal objetivo de este boletín, es que la información generada sea transferida y aplicada a toda la industria.

Bruno Defilippi Bruzzone
Director Regional INIA La Plata

Capítulo 1

Bases fisiológicas de la postcosecha de arándano

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Pablo Ulloa F.

Ingeniero de Alimentos, Dr.

Para comprender el comportamiento de postcosecha de un fruto, como el desarrollo y aplicación de tecnologías de precosecha/postcosecha que determinen su calidad y potencial de vida útil, es crucial conocer las bases fisiológicas de cada especie. Lo anterior, porque existen características propias de cada una, incluyendo aspectos de crecimiento y desarrollo de fruto, patrón respiratorio, respuesta a etileno y morfológicas del fruto, y que serán críticas al momento de entender su comportamiento durante postcosecha y las estrategias para optimizar la vida útil. En este capítulo revisaremos los principales aspectos que dan las bases para entender la fisiología de la postcosecha de arándano.

1.1. Crecimiento y desarrollo del fruto

Durante el crecimiento y desarrollo del fruto de arándano en el arbusto, se presenta una curva de crecimiento doble sigmoidea, que determina una primera etapa basada en la división celular. Continúa con una aparente fase de crecimiento reducido del fruto en cuanto a tamaño, donde se producen cambios fundamentales asociados a la maduración del embrión y endosperma, y luego se reanuda este crecimiento hasta alcanzar el tamaño final y las características sensoriales propias de cada variedad en cuanto a sabor, textura y color (Darnell *et al.*, 1992). A medida que el fruto crece y madura se produce la acumulación de compuestos de tipo fenilpropanoides, que le dan su color característico, muy apreciados por sus capacidades antioxidantes y de gran beneficio para la salud de las personas (Wang *et al.*, 2015). Estos compuestos

bioactivos se pueden llegar a acumular en cantidades significativas dependiendo de la variedad (Ribera *et al.*, 2010), siendo el compuesto más importante el ácido hidroxicinámico (Castrejon *et al.*, 2008). El color azul característico del arándano se debe a la acumulación de compuestos antocianos, siendo los más abundantes la malvidina, peonidina, petunidina, cianidina y delfinidinas (Lee & Wrolstad, 2004; Lee *et al.*, 2015), cuya concentración es modificada por el genotipo (variedad), clima y manejo agronómico durante la precosecha (Sargent *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2008).

Durante el desarrollo, en el fruto de arándano se van depositando ceras en la epidermis producidas a partir de compuestos alifáticos de cadena larga, especialmente triterpenoides (Chu *et al.*, 2017), que se localizan en su superficie protegiendo al fruto de la pérdida de agua, y otorgándole una apariencia característica (*blooming*), relevante para los consumidores de arándano. Es interesante señalar que la cantidad de cera que compone la cutícula es variable, dependiendo de las condiciones del ambiente, manejo y manipulación del fruto en la fase de postcosecha (Klavins & Klavins, 2020).

El sabor del arándano está dado principalmente por una combinatoria de azúcar/acidez (Moggia *et al.*, 2014), siendo predominantes en los componentes del dulzor la glucosa y la fructosa, y la acidez está representada mayoritariamente por el ácido cítrico (Forney *et al.*, 2012). No obstante, como muchos atributos de calidad, estas características dependen de la variedad, madurez a cosecha y manejo agronómico (Lobos *et al.*, 2018). Sin embargo, existe un comportamiento usual asociado a la maduración de los frutos en donde la concentración de ácidos va disminuyendo a medida que llega el momento de la cosecha. Asimismo, la concentración de sólidos solubles totales se correlaciona en forma significativa con la cantidad de luz fotosintéticamente activa que llega a la planta, que por estrategias de manejo (uso de coberturas de diferente características y nivel de sombra) se pueden ver modificadas como será discutido en los siguientes capítulos (Lobos *et al.*, 2009; 2014).

1.2. Metabolismo respiratorio y etileno

Si bien existen ciertas discrepancias en la literatura en cuanto a comportamiento respiratorio (Frenkel, 1972; Janes *et al.*, 1978; Zifkin *et al.*, 2012), el fruto de arándano se clasifica como un fruto climatérico donde existe un alza respiratoria

durante su maduración (Kader, 2002). Sin embargo, es importante mencionar que no presenta otras características esperables de otros frutos climatéricos clásicos, como manzana, mango o banana, en el que luego de cosecha se observa una evolución marcada de atributos de calidad, por lo que la elección del momento de cosecha es crucial. En consecuencia, a diferencia de los frutos climatéricos mencionados, el arándano se debe cosechar cercano a madurez de consumo ya que sus atributos organolépticos no mejoran después de cosecha, en particular el dulzor de la fruta por carecer de reservas de tipo almidón.

Respecto a la intensidad de la tasa respiratoria es un fruto de tasa moderada al compararse con otros frutos y su intensidad va a depender de una serie de variables como el genotipo, manejo agronómico, estado de madurez y la temperatura de almacenamiento una vez cosechado el fruto (**Cuadro 1.1**). Dentro de estas variables, el manejo de temperatura es crucial desde el momento de cosecha en adelante, y en los próximos capítulos se hará referencia a la importancia que tiene la temperatura en mantener los distintos atributos de calidad en arándano, como firmeza del fruto.

Durante el almacenamiento o tránsito a destino, la temperatura de manejo es crítica, y cualquier cambio en esta variable afectará la intensidad de la tasa respiratoria, por lo tanto, el potencial de vida útil de la fruta (**Figura 1.1**).

Cuadro 1.1. Tasas de respiración para distintas especies en función de las temperaturas.

Especie	Tasa de respiración (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)				
	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C
Palta	n.d.	35	105	n.d.	190
Banana	n.d.	n.d.	80	140	280
Mora	19	36	62	75	115
Arándano	6	11	29	48	70
Chirimoya	n.d.	n.d.	119	182	300
Cereza	8	22	28	46	65
Frambuesa	17	23	35	42	125
Frutilla	16	n.d.	75	n.d.	150

n.d. No detectado.

Fuente: *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. Agricultural Research Service. Agricultural Handbook 66 (2016).*

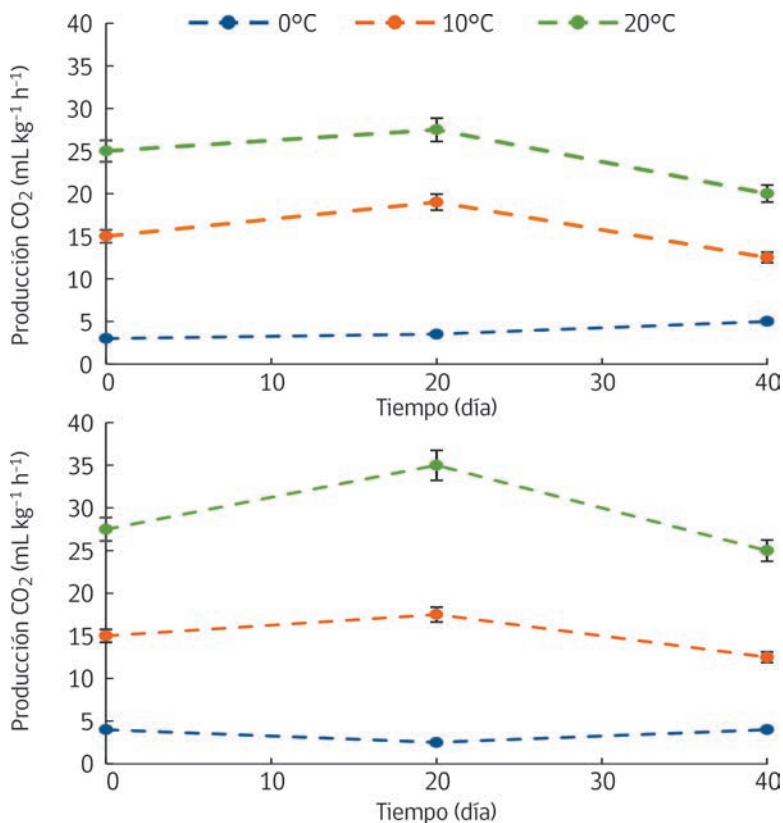


Figura 1.1. Tasa respiratoria en arándano cvs Legacy y Top Shelf. Al inicio de almacenamiento, y a los 20 y 40 d a 0 °C, se midió la tasa respiratoria a 0, 10 y 20 °C. Fuente: Unidad de Postcosecha, INIA.

En general, los arándanos producen poco etileno a cosecha comparado con otros frutos, siendo clasificados como frutos de baja producción ($0,1-1,0 \text{ uL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; Kader, 2002). La evaluación de un gran número de variedades por parte de la Unidad de Postcosecha de INIA demuestran y confirman estos bajos niveles de producción, manteniendo incluso niveles inferior a $2 \text{ uL kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ con temperaturas de 20 °C (datos no mostrados), independiente de la variedad.

Sin embargo, similar a otros frutos, la tasa de producción de esta hormona así como la respuesta a ella tiene relación con la variedad y el estado de desarrollo del fruto. Por otro lado, el uso de herramientas/tecnologías que inhiben la percepción o acción del etileno aplicados una vez cosechada la fruta (*i.e.* 1-MCP), no han tenido efectos muy significativos o han sido poco concluyentes en extender la vida útil de la fruta

(Cappai *et al.*, 2018; MacLean & NeSmith, 2011). Sin embargo, en los últimos años se ha identificado un rol importante de la inhibición de etileno en etapas tempranas de desarrollo del fruto en el arbusto, modulando atributos de calidad a cosecha. Además, en el ámbito de inhibidores de etileno, se están evaluando nuevas formulaciones y tiempos de aplicación, por lo que es un área activa de investigación y que puede entregar herramientas de manejo a mediano plazo.

Adicionalmente al etileno, se ha estudiado el uso de ácido abscísico (ABA) en la fisiología de la maduración del arándano con resultados interesantes; no obstante, contradictorios en la forma que ABA modularía los procesos (Buran *et al.*, 2012; Oh *et al.*, 2018; Karppinen *et al.*, 2018; Chung *et al.*, 2019). En este contexto, publicaciones recientes indicarían que el etileno más que el ABA estarían incidiendo fisiológicamente en la evolución de la maduración en este tipo de frutos (Watanabe *et al.*, 2021). Otra hormona que aparentemente está participando en el proceso de ablandamiento y maduración del arándano sería el metil jasmonato que actuaría sobre el proceso de remodelamiento de la pared celular y metabolismo energético del fruto (Wang *et al.*, 2019; 2021).

En relación al metabolismo del fruto, la cuantificación de la tasa respiratoria es quizás la variable que nos permite estimar mejor la tasa de los cambios fisiológicos que experimenta el fruto bajo condiciones específicas. Como se mencionó, el arándano tiene una tasa respiratoria media-baja comparada con otras frutas, y en este sentido generalmente una menor tasa respiratoria se asocia a una mayor vida de postcosecha. Es aquí donde nuevamente la temperatura vuelve a tomar relevancia como la variable que más afecta la tasa respiratoria de una fruta luego de cosecha, ya que los incrementos de temperatura tienen un efecto directo en la tasa de respiración independiente de la variedad. Con el objetivo de reducir la tasa respiratoria de la fruta es que se utilizan otras tecnologías complementarias, tales como la atmósfera controlada/ modificada, la cual será discutida en este boletín (Capítulo 6).

1.3. Transpiración y pérdida de peso

Si bien se mencionó que la tasa respiratoria es crucial en definir la vida de postcosecha de un fruto, no es la más importante para el caso del arándano, ya que si vemos el **Cuadro 1.1**, dónde frutos como la palta, con una tasa respiratoria mucho mayor que el arándano, tiene una duración similar o quizás incluso mayor en cuanto a vida de postcosecha.

La pérdida de agua, o vapor de agua, por transpiración en los arándanos es la causa más importante de la disminución de la firmeza, donde quizás junto a la incidencia de pudriciones es una de las variables de calidad más exigidas por el mercado (Paniagua *et al.* 2014; Rivera, 2021). Se ha establecido que existe un umbral cercano al 1,5% de la pérdida de peso fresco que hace que el proceso de pérdida de firmeza sea irreversible. Por las características intrínsecas del fruto de arándano, con una alta relación superficie/volumen, epidermis delgada y presencia de herida pedicelar, el fruto es muy susceptible a la deshidratación una vez cosechado. Se ha reportado que en función de la variedad, el fruto de arándano puede perder hasta un 40% del total de vapor de agua a través de la herida pedicelar.

Como se observa en la **Figura 1.2**, para 3 variedades de arándanos durante almacenamiento, la fruta a la cual se le selló la herida pedicelar a cosecha presentó una menor pérdida de peso que a aquella mantenida en almacenamiento con su herida pedicelar intacta. También se observa que existen diferencias entre variedades, fluctuando estas pérdidas entre un 20 y 60% de la pérdida total de agua desde el fruto por esta herida. Lo que demuestra el aporte de la herida pedicelar a la pérdida de vapor de agua total desde el fruto. Si bien han existido iniciativas para la aplicación de productos que permitan “sellar” esta herida, hay dificultades derivadas tanto de la morfología propia del fruto como operacionales de manejo que impiden un desarrollo o escalamiento de este

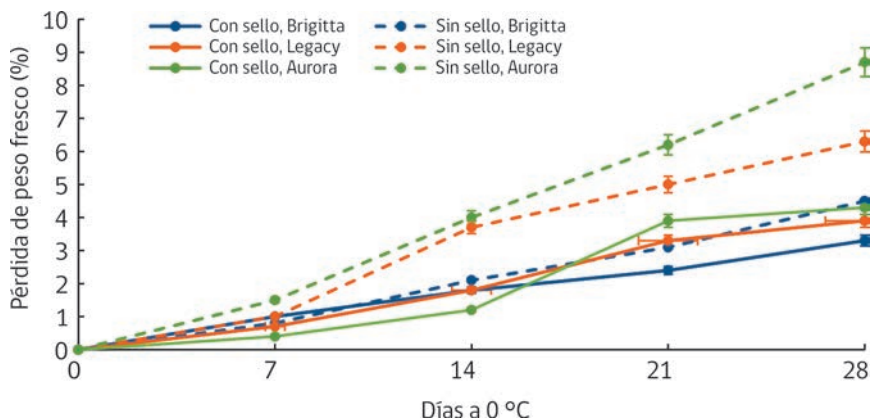


Figura 1.2. Pérdida de peso en tres variedades de arándano durante almacenamiento a 0 °C. Líneas continuas muestran la pérdida de agua (%) en frutos, en los cuales la herida pedicelar se selló al momento de la cosecha. Las líneas discontinuas corresponden a frutos con herida pedicelar sin intervención a cosecha. Fuente: Unidad de Postcosecha, INIA.

tipo de estrategias. Bajo condiciones muy específicas asociadas a variedades y manejos productivos se ha cosechado el fruto con el pedicelo adherido, es decir sin herida pedicelar, sin embargo son labores que disminuyen la eficiencia de la mano de obra a cosecha y por lo tanto difícil de escalarlas comercialmente. Sin dudas, labores como una baja manipulación de la fruta que mantengan una capa cerosa, cutícula o “bloom” intactas son necesarias para disminuir las pérdidas de vapor de agua desde el fruto al ambiente.

La variable de manejo de postcosecha que incide fuertemente en la deshidratación del fruto es nuevamente la temperatura, la cual tiene un efecto directo no sólo por modular el metabolismo de la fruta, representado como tasa respiratoria, sino que además por su importante efecto en definir el diferencial entre el contenido de agua del fruto y el entorno (diferencial de presión de vapor, DPV. Revisado en Capítulo 4 de este boletín). Al disminuir la temperatura del ambiente, el aire que rodea la fruta tiene una menor capacidad de almacenamiento de agua, lo que permite reducir el DPV entre el ambiente y el fruto, reduciendo las pérdidas de agua desde la fruta (**Figura 1.2**).

Por lo tanto, el control de una adecuada temperatura durante las etapas de cosecha, embalaje, almacenamiento, transporte y venta, serán cruciales para disminuir la incidencia de la generación de frutos blandos. Temas que son revisados y discutidos en el Capítulo 4 de este boletín asociado a logística entre cosecha y proceso.

1.4. Referencias

- Buran, T.J., Sandhu, A.K., Azeredo, A.M., Bent, A.H., Williamson, J.G., Gu, L., 2012. Effects of exogenous abscisic acid on fruit quality, antioxidant capacities, and phytochemical contents of Southern Highbush blueberries. *Food Chem.* 132, 1375–1381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.124>
- Cappai, F., Benevenuto, J., Ferrão, L.F.V., Munoz, P., 2018. Molecular and genetic bases of fruit firmness variation in blueberry—a review. *Agronomy* 8, 174, 2–20. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090174>
- Castrejón, A.D.R., Eichholz, I., Rohn, S., Kroh, L.W., Huyskens-Keil, S., 2008. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chemistry*, 109, 564–572. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.007>

- Chu, W., Gao, H., Chen, H., Wu, W., Fang, X., 2018. Changes in cuticular wax composition of two blueberry cultivars during fruit ripening and postharvest cold storage. *J. Agric. Food Chem.* 66, 2870–2876. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05020>
- Chung, S.W., Yu, D.J., Oh, H.D., Ahn, J.H., Huh, J.H., Lee, H.J., 2019. Transcriptional regulation of abscisic acid biosynthesis and signal transduction, and anthocyanin biosynthesis in 'Bluecrop' highbush blueberry fruit during ripening. *PLoS One* 14, 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220015>
- Darnell, R.L., Stutte, G.W., Martin, G.C., Lang, G.A. and Early, D., 1992. Developmental physiology of Rabbiteye blueberry. In: *Horticultural Reviews*, J. Janick (Ed.) <https://doi.org/10.1002/9780470650509.ch9>
- Forney, C.F., Kalt, W., Jordan, M.A., Vinqvist-Tymchuk, M.R., Fillmore, S.A.E., 2012. Blueberry and cranberry fruit composition during development. *J. Berry Res.* 2, 169–177. <https://doi.org/10.3233/JBR-2012-034>
- Frenkel, C., 1972. Involvement of peroxidase and indole-3-acetic acid oxidase isozymes from pear, tomato, and blueberry fruit in ripening. *Plant Physiol.* 49, 757–763. <https://doi.org/10.1104/pp.49.5.757>
- Kader, A., 2002. Postharvest biology and technology: An overview. p. 39–47. In Kader, A.A. (ed.) *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California, Agriculture and Natural Resources, Davis, California, USA.
- Karppinen, K., Tegelberg, P., Häggman, H., Jaakola, L., 2018. Abscisic acid regulates anthocyanin biosynthesis and gene expression associated with cell wall modification in ripening bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruits. *Front. Plant Sci.* 9, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01259>
- Klavins, L., Klavins, M., 2020. Cuticular wax composition of wild and cultivated Northern berries. *Foods* 9, 1–16
- Lee, J., Wrolstad, R., 2004. Extraction of anthocyanins and polyphenolics. *J. Food Sci.* 69, C564–573
- Lee, S.G., Vance, T.M., Nam, T.G., Kim, D.O., Koo, S.I., Chun, O.K., 2015. Contribution of Anthocyanin Composition to Total Antioxidant Capacity of Berries. *Plant Foods Hum. Nutr.* 70, 427–432. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0514-5>

- Lobos, G.A., Bravo, C., Valdés, M., Graell, J., Lara Ayala, I., 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 Biol. Technol.* 146, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.08.004>
- MacLean, D.D., Nesmith, D.S., 2011. Rabbiteye blueberry postharvest fruit quality and stimulation of ethylene production by 1-methylcyclopropene. *HortScience* 46, 1278–1281. <https://doi.org/10.21273/hortsci.46.9.1278>
- Moggia, C., Lobos, G.A., Retamales, J.B., 2014. Modified atmosphere packaging in blueberries: effect of harvest time and moment of bag sealing. *Acta Hortic.* 1017, 153–158. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1017.16>
- Oh, H.D., Yu, D.J., Chung, S.W., Chea, S., Lee, H.J., 2018. Abscisic acid stimulates anthocyanin accumulation in 'Jersey' highbush blueberry fruits during ripening. *Food Chem.* 244, 403–407. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.051>
- Paniagua, A.C., East, A.R., Heyes, J.A., 2014. Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere conditions during blueberry storage on quality outcomes. *Postharvest Biol. Technol.* 95, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.04.006>
- Ribera, A.E., Reyes-Díaz, M., Alberdi, M., Zuñiga, G.E., Mora, M.L., 2010. Antioxidant compounds in skin and pulp of fruits change among genotypes and maturity stages in Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) grown in southern Chile. *J. soil Sci. Plant Nutr.* 10, 509–536
- Rivera, S., Kerckhoffs, H., Sofkova-Bobcheva, S., Hutchins, D., East, A., 2021. Influence of water loss on mechanical properties of stored blueberries. *Postharvest Biol. Technol.* 176, 111498. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111498>
- Sargent, S.A., Berry, A.D., Williamson, J.G., Olmstead, J.W., 2013. Postharvest quality of mechanically and hand-harvested, Southern Highbush blueberry fruit for fresh market. *Horttechnology* 23, 437–441. <https://doi.org/10.21273/horttech.23.4.437>
- Wang, H., Cheng, X., Wu, C., Fan, G., Li, T., Dong, C., 2021. Retardation of postharvest softening of blueberry fruit by methyl jasmonate is correlated with altered cell wall modification and energy metabolism. *Sci. Hortic.* 276, 109752. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109752>

- Wang, H., Wu, Y., Yu, R., Wu, C., Fan, G., Li, T., 2019. Effects of postharvest application of methyl jasmonate on physicochemical characteristics and antioxidant system of the blueberry fruit. *Sci. Hortic.* 258. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108785>
- Wang, L.J., Wu, J., Wang, H.X., Li, S.S., Zheng, X.C., Du, H., Xu, Y.J., Wang, L.S., 2015. Composition of phenolic compounds and antioxidant activity in the leaves of blueberry cultivars. *J. Funct. Foods* 16, 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.027>
- Wang, S.Y., Chen, C.T., Sciarappa, W., Wang, C.Y., Camp, M.J., 2008. Fruit quality, antioxidant capacity, and flavonoid content of organically and conventionally grown blueberries. *J. Agric. Food Chem.* 56, 5788–5794. <https://doi.org/10.1021/jf703775r>
- Watanabe, M., Goto, R., Murakami, M., Komori, S., Suzuki, A., 2021. Interaction between ethylene and abscisic acid and maturation in highbush blueberry. *Hortic. J.* 90, 14–22. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-210>
- Zifkin, M., Jin, A., Ozga, J.A., Irina Zaharia, L., Scherthner, J.P., Gesell, A., Abrams, S.R., Kennedy, J.A., Peter Constabel, C., 2012. Gene expression and metabolite profiling of developing highbush blueberry fruit indicates transcriptional regulation of flavonoid metabolism and activation of abscisic acid metabolism. *Plant Physiol.* 158, 200–224. <https://doi.org/10.1104/pp.111.180950>

Capítulo 2

Atributos de calidad e índices de madurez y cosecha

Iverly Romero M.

Ingeniera Agrónoma, M.Sc.

Edgard Álvarez R.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Abel González G.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

En los últimos años la producción de arándanos ha aumentado a nivel mundial, apareciendo otros actores en la escena, por lo que mantener la calidad de la fruta exportada es esencial para ser competitivos en los nuevos mercados y en los existentes. Para llegar a estos mercados, el primer paso en la vida de postcosecha de un producto es el momento de la cosecha (Kader, 2002). En este momento la fruta debe ser cosechada con una madurez apropiada, debido a que de ésta depende la duración del fruto en almacenamiento. Así cuando la fruta se cosecha en un estado de madurez inadecuada, aunque reciba todas las tecnologías de postcosecha, sufrirá deterioro en este periodo por su actividad metabólica mencionada en el capítulo anterior.

La calidad está definida por una serie de factores, los cuales los podemos agrupar en calidad visual, calidad organoléptica y calidad nutritiva. La calidad visual se refiere a la apariencia de la fruta, la cual en arándanos la define con (i) un fruto de color azul uniforme, (ii) la presencia de cera en la superficie de la fruta (conocida como *bloom*), que el consumidor lo relaciona a una fruta fresca, (iii) la ausencia de defectos como daño mecánico y pudriciones, (iv) forma y tamaño de la fruta y (v) una fruta con firmeza adecuada. Respecto a la calidad organoléptica, está determinada por el contenido balanceado de azúcares, ácidos y volátiles responsables del aroma característico de la fruta. Por lo tanto, todas las operaciones, tanto de precosecha como postcosecha deben ir focalizadas en maximizar la obtención de un producto de calidad global, el cual mantenga sus características hasta la etapa de consumo.

Como se mencionó, dentro de los atributos de calidad y condición exigidos por los consumidores de arándano fresco se incluye el tamaño, desarrollo de color,

ausencia de defectos y pudriciones, sabor y textura, siendo este último el que quizás representa un mayor desafío para industria durante toda la cadena de comercialización (**Cuadro 2.1**). Esta situación estaría dada por una serie de factores que determinan firmeza; donde destacan la variedad, el estado de madurez a cosecha, el nivel nutricional (relación C/N, por ejemplo), deshidratación del fruto, períodos prolongados de almacenamiento/envío, etc., y la interacción entre ellos definen este importante atributo.

Cuadro 2.1. Parámetros de calidad recomendados para arándanos.

Atributo	Nivel o rango
pH	2,25 - 4,25
Acidez titulable (expresado ácido cítrico, %)	0,3 - 1,3 (p/p)
Sólidos solubles totales (SST, %)	>10 (p/p)
Relación SST/AT	10 - 33
Firmeza	> 70 g para 1 mm deformación
Tamaño (mm)	> 10
Color (%)	Azul, <0,5 antocianina (p/p)

Fuente: Retamales & Hancock (2018).

Además, se suma el dinamismo importante que tiene esta industria, con un crecimiento significativo en los últimos años enfocado hacia mercados distantes como Europa y Asia, lo cual ha hecho necesario extender la vida de postcosecha hasta el límite de vida útil como fruta fresca, en países proveedores como Chile, Perú y Argentina, entre otros. Dada esta situación, se han adoptado una serie de tecnologías, a revisar en el Capítulo 6, como es el uso de atmósfera modificada y controlada, hasta la necesidad de fumigaciones por motivos cuarentenarios, procesos que de una u otra forma afectan a la calidad y condición de la fruta, incluida su textura.

2.1. Índice de madurez

El momento óptimo de cosecha se determina por una serie de variables conocidas como índices de madurez. Como índices, implican que sean medibles y parametrizadas en el desarrollo de la baya hasta su cosecha, y estos pueden utilizarse para determinar si un producto en particular posee la madurez requerida comercialmente.

Un buen índice de madurez es aquel que presenta una variación importante a lo largo del proceso de maduración. Debe ser de preferencia objetivo, es decir, que sea medible y ser consistente con la calidad y vida postcosecha del producto para todas las regiones productoras. En este sentido, se han utilizado algunas características del fruto con la intención de obtener estimaciones adecuadas de la madurez. En arándano son utilizados usualmente el color, la firmeza, el contenido de sólidos solubles totales y la acidez titulable.

Estos índices aparte de determinar el momento de cosecha, son importantes en la comercialización, ya que en ocasiones les permite a los productores saber si su producto puede cosecharse cuando el mercado es atractivo. Además, dan la posibilidad de hacer uso eficiente de la mano de obra en momentos de escasez y también permiten estimar fechas de cosechas por variedad.

A diferencia de otras frutas, en arándano se da la particularidad de que se dispone una gran número de variedades, pero con características muy similares en cuanto a color, tamaño y composición, a diferencia de lo que se observa en otras especies como uva de mesa, manzana, mango, entre otras. Por lo tanto, en arándano usualmente no se consideran índices específicos de madurez, calidad y cosecha por variedad, pero sabiendo que existen diferencias importantes en potencial de vida útil entre variedades, es necesario avanzar y determinar atributos, o la interacción entre ellos. Esto nos permitirá definir parámetros que indiquen no sólo el momento óptimo de cosecha pensando en calidad, sino que además nos permita estimar el potencial de vida útil que tendrá la fruta.

En este capítulo se revisan los principales índices de madurez utilizados en arándano, y los avances realizados en la búsqueda de parámetros que permitan estimar la vida útil de la fruta.

2.1.1. Color de la epidermis

El cambio de color de la epidermis que acompaña a la madurez fisiológica es utilizado ampliamente como índice de madurez. En relación a esto, las antocianinas representan un grupo de compuestos fenólicos que se encuentran principalmente en flores y frutos. Estos últimos se localizan preferentemente en la piel del fruto y ocasionalmente en la pulpa. Pueden contener un solo tipo de pigmento, como en la manzana, la cual contiene únicamente cianidina, mientras que en frutos como la uva y los arándanos contienen la combinación de cinco de las seis antocianidinas comunes (Vargas *et al.*, 2002). Estos compuestos fenólicos según su concentración y distribución en la piel de las bayas, son los responsables de dar color.

Durante el desarrollo del fruto en el arbusto, la determinación de color externo generalmente se realiza por comparación con tablas de color, y a nivel más cuantitativo están disponibles los colorímetros, instrumentos que tiene un elevado costo y que no necesariamente reflejan la distribución del color en el fruto, por lo que estos últimos son utilizados a nivel de laboratorio. A nivel de proceso o packing existe la tecnología para poder segregar en forma rápida y automatizada un gran volumen de fruta por nivel de cobertura de color.

Cualquiera sea el instrumento utilizado en la fase de cosecha en arándanos, no es posible detectar diferencias visuales en el color entre un fruto que recién logró un 100% de cobertura azul y otro con un 100% de cobertura azul, pero que reside hace varios días más en la planta (Moggia *et al*, 2016), lo que finalmente se traduce en fruta sobremadura, ya que en este período se producen una serie de cambios, como el aumento en sólidos solubles totales y cambios a nivel de pulpa (**Figura 2.1**). Este es un punto crucial a nivel de productor, ya que estará asociado a definiciones importantes como el momento de ingreso a un cuartel o

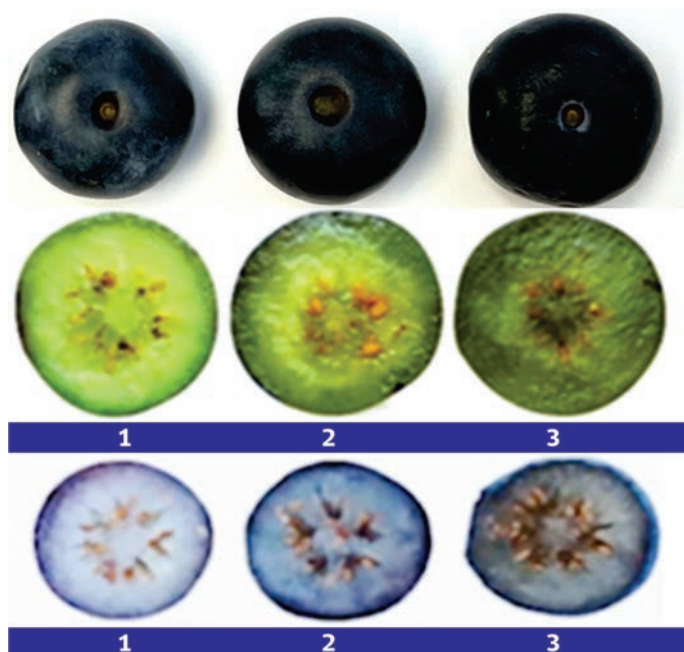


Figura 2.1. Cambios en el color de la epidermis y apariencia de pulpa de frutos de arándanos. Es importante tener en cuenta que las variedades evolucionan distinto en apariencia de pulpa a medida que avanza la madurez, y por lo tanto se sugiere realizar escalas por variedad o grupo de variedades.

sector del campo, lo que va ligado a uso de mano de obra y potencial de vida útil de la fruta cosechada. Por lo cual, el color sólo es un buen indicador de madurez hasta que el fruto alcanza el color azul con un 100% de cobertura, luego de eso, es muy difícil estimar su avance de maduración.

Actualmente se están realizando desarrollos orientados a cuantificar en forma no destructiva los cambios en pigmentos responsables del cambio de color a medida que el fruto tiene un 100% de color azul y luego sigue evolucionando. Investigadores del Departamento de Agricultura de Precisión de INIA Quilamapu se encuentran desarrollando una técnica basada en la relación existente entre el estado de madurez del color azul de la baya y la presencia de antocianinas. Para ello el equipo realizó la construcción de un modelo que permite correlacionar las mediciones de equipos espectro radiométricos Vis-NIR (Near-Infrared) con el contenido de antocianinas de bayas. Técnicamente cuando se habla de NIRs, este involucra un haz de luz que al interactuar con material biológico produce una radiación electromagnética, lo que le permite penetrar dentro de una muestra y ser absorbida o reflejada. Esta onda reflejada se analiza, y puede proporcionar información acerca de la muestra, como por ejemplo su composición interna. El modelo fue probado en el año 2018, donde el valor de antocianinas extraídas en laboratorio y la clasificación de madurez entregada por el modelo a partir de la medición del equipo Vis-NIR fueron correctas. En este trabajo los frutos maduros tienen un contenido de antocianinas medido en laboratorio con el método Glories entre 1,0-1,3 mg g⁻¹.

El futuro desarrollo de esta herramienta permitiría tener una mayor certeza del tiempo que lleva el fruto en el arbusto desde que logró el 100% de color. Sin duda, habrá avances importantes en esta línea de trabajo, y con un impacto a nivel de la industria con herramientas que permitan la segregación y categorización de fruta a nivel de materia prima y producto terminado.

2.1.2. Calibre

El calibre depende principalmente de factores genéticos que inciden en el desarrollo del fruto, donde la división y la elongación celular determinan en gran medida este parámetro de calidad. En los arándanos el crecimiento de los frutos como en otros casos, sigue una curva doble sigmoidea. En una primera etapa se presenta un rápido crecimiento debido a la división celular y la duración de esta etapa puede variar de 21 a 50 días para variedades con un ciclo corto y largo, respectivamente (Shoemaker, 1978). Una segunda etapa se caracteriza por un marcado retraso en

el desarrollo del pericarpio, asociado a un rápido crecimiento del embrión (Gough., 1994), donde esta etapa puede durar 18 y 27 días para variedades de ciclo corto y largo. Finalmente se produce la elongación celular en el mesocarpio, donde los asimilados y el agua comienzan a ingresar fuertemente al fruto, por lo cual en esta etapa se define la calidad adquiriendo el calibre final y el potencial de condición del fruto. Esta etapa tiene una duración de 26 días en arándano alto (Shoemaker, 1978).

Si bien en arándanos a diferencia de lo que sucede en otras especies frutales, el calibre no se utiliza como índice de madurez, si es considerado en la calidad de los frutos. Para determinar calibre generalmente se utiliza un pie de metro y en campo se utilizan calibreadores de bolsillo propios para esta especie. En la industria han clasificado los calibre como pequeño (≤ 10 mm), medio (11-15 mm) y fruto grande (≥ 16 mm), sin especificar entre variedades, mientras que algunos equipos los clasifican de acuerdo a lo indicado en el **Cuadro 2.2**.

Cuadro 2.2. Categorías de calibre en equipos de análisis de firmeza para arándanos.

Categorías	L Large	XL Extra Large	J Jumbo	SJ Super Jumbo	P Premium	SP Super Premium
Rango (mm)	0-12	12-14	14-16	16-18	18-20	>20

2.1.3. Firmeza de fruto

Uno de los cambios más importante y menos apreciable durante el avance del desarrollo del fruto en el arbusto es el que ocurre a nivel de pulpa. Internamente la pulpa va sufriendo cambios físicos, químicos y estructurales a medida que avanza la madurez, los cuales van asociados a cambios en textura y ablandamiento. Asimismo, una baya firme es signo de frescura y permite asegurar un mayor período de almacenamiento, por el contrario, se sabe que el ablandamiento aumenta la susceptibilidad al daño mecánico y al ataque de patógenos (Vargas *et al*, 2000). A nivel de consumidor, la firmeza es un atributo global de calidad en el arándano, y es uno de los principales atributos que determinan la opción de compra, seguido del sabor. De esta manera el ablandamiento estaría limitando los volúmenes de fruta enviados a mercados lejanos y con esto afectando la rentabilidad del rubro de exportación de arándanos.

La firmeza se ha descrito como la fuerza necesaria para afectar destructivamente al tejido y se encuentra vinculada a los diferentes estados de madurez. La pérdida

de firmeza puede ser influenciada por la variedad cultivada y el momento de cosecha. En los arándanos, una vez alcanzado el estado de madurez de consumo o cosecha, sobreviene rápidamente el estado de sobremadurez, el cual puede ser asociado a un ablandamiento excesivo del fruto durante postcosecha, derivando en una disminución del potencial del tiempo de almacenaje.

En cuanto a la cuantificación de firmeza, por décadas se utilizó una medición cualitativa basada la fuerza necesaria para deformar el fruto entre el dedo pulgar y el índice como un indicador comercial de fruta blanda. Sin embargo, esta metodología se encuentra altamente influenciada por el evaluador afectando la calidad de la información generada. Actualmente, estos cambios de textura o firmeza pueden evaluarse en terreno o laboratorio utilizando una serie de instrumentos. El equipo que entrega más información a nivel de laboratorio es el texturómetro, equipo que mide la fuerza requerida para penetrar, comprimir, deformar o exprimir el fruto, y esta fuerza puede aplicarse en una amplia variedad de formas y se ejecuta mediante una sonda que es empujada sobre la muestra del producto, causando compresión (Zapata *et al.* 2010). Es un equipo de alta precisión, alto costo y que requiere un operador entrenado, por lo que no es común utilizarlo a nivel de industria.

A nivel de industria se encuentran disponibles una serie de instrumentos, que principalmente se basan en la medición de la fuerza necesaria para deformar el fruto, donde en algunos casos es una deformación medible y cuantificable, como ocurre en equipos como el Firmtech y Firmpro, instrumentos ampliamente utilizados a nivel de laboratorio y plantas de proceso. Como se mencionó, independiente del instrumento a utilizar, es importante que esta medición no sufra variaciones por factores externos como el operador y el medio ambiente. En el **Cuadro 2.3**, se presenta una comparación de los instrumentos actualmente más utilizados por la industria en la cuantificación de la firmeza en arándano.

Cuadro 2.3. Comparación de atributos entre equipos utilizados para la medición de firmeza en arándano.

Equipo	Precisión	Calidad información	Facilidad operación	Velocidad operación	Servicio técnico
Texturómetro (N)	1	1	4	4	3
Firmtech ($g_f \text{ mm}^{-1}$)	3	3	2	1	4
FirmPro ($g_f \text{ mm}^{-1}$)	2	2	2	1	1
Durofel/Baxlo (unidades)	4	4	1	1	2

*1=más conveniente a 4=menos conveniente.

Fuente: Unidad de Postcosecha, INIA.

Por otro lado, al evaluar la firmeza en forma cuantitativa con estos instrumentos permite categorizar los frutos desde frutos muy blandos hasta frutos muy firmes. Un ejemplo de clasificación de acuerdo a uno de los instrumentos se visualiza en el **Cuadro 2.4**.

Cuadro 2.4. Clasificación por firmeza de los frutos de acuerdo a medición realizada con equipo FirmPro.

Clasificación de firmeza	Muy blando	Blando	Sensible	Firme	Muy firme
Rango firmeza ($g_f \text{ mm}^{-1}$)	<100	100 - 120	120 - 130	130 - 140	> 140

Al medir la firmeza de un arándano, tanto a la cosecha como durante el almacenamiento, se debe considerar la alta variabilidad que presenta este valor dentro de una población de fruta. Como se observa en la **Figura 2.2**, para arándanos de 4 variedades cosechada en la temporada 2020-21, existe una importante variabilidad en firmeza, y donde el valor de la media o promedio no necesariamente es un indicador del reflejo de la calidad para este importante atributo. Por lo tanto, frente a la importancia que tiene el atributo de firmeza a nivel de cosecha y postcosecha, se hace necesario implementar metodologías adecuadas para la cuantificación, y

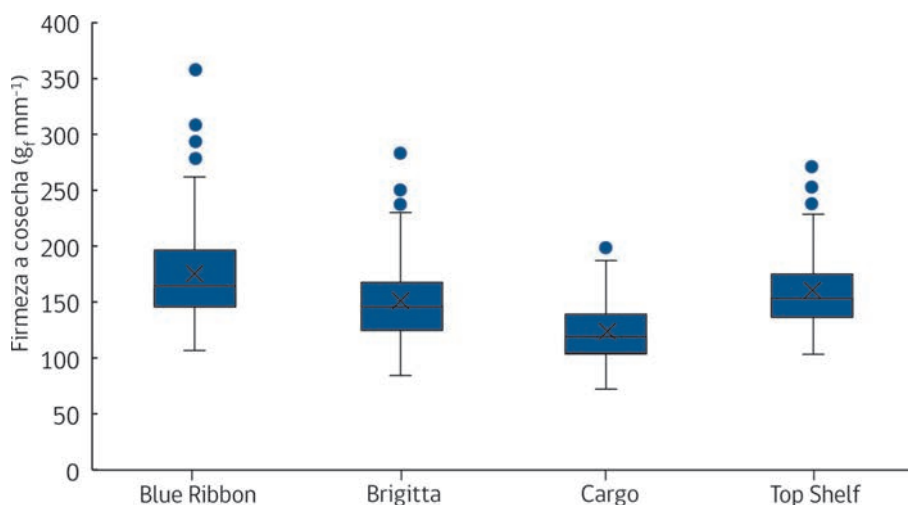


Figura 2.2. Distribución de firmeza de arándano a cosecha ($g_f \text{ mm}^{-1}$) en 4 variedades (Blue Ribbon, Brigitta, Cargo y Top Shelf), Freire, Región de la Araucanía en la temporada 2020-2021.

sobre todo el conocer la distribución de firmeza de la materia prima a proceso la cual va estar influenciada por la variedad, aspectos de manejo productivo y condiciones agroclimáticas.

2.1.4. Apariencia de pulpa

Así como durante el desarrollo del fruto en el arbusto se van generando cambios estructurales y de composición en la pared celular, y de contenido a nivel de azúcares y ácidos orgánicos en la célula, también ocurren cambios a nivel de pulpa con avance de la madurez. Estos cambios se reflejan en una modificación de la pulpa al ser evaluada en un corte transversal (Figura 2.1). En términos de firmeza a cosecha, a medida que se cosecha con fruta en escala de pulpa más avanzada, y siempre con >90% color azul de cubrimiento externo, obtenemos una materia más blanda (Figura 2.3).

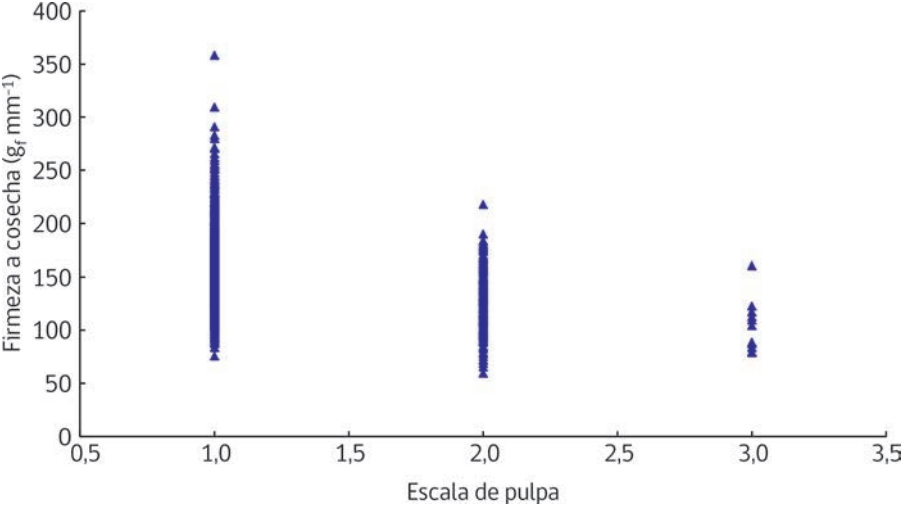


Figura 2.3. Escala de apariencia de pulpa y firmeza de frutos para dos temporadas (2020-21 y 2021-22) en La Región de La Araucanía. La muestra contempla fruta de las variedades Blue Ribbon, Top shelf, Brigitta, Legacy y Cargo, producidas bajo coberturas de protección y al aire libre.

En un estudio realizado por el grupo de investigación de postcosecha de INIA, se determinó la relación que existe entre frutos con pulpas en distinto estado de madurez y la incidencia de frutos blandos luego de 30 días en almacenamiento a 0 °C en aire regular con bolsa microperforada al 0,3%. La fruta proveniente

de la comuna de Freire, Región de La Araucanía, fue agrupada de acuerdo a una misma firmeza instrumental y su apariencia de pulpa (1 - 2- 3) fue promediada en aquellos grupos (**Figura 2.4**).

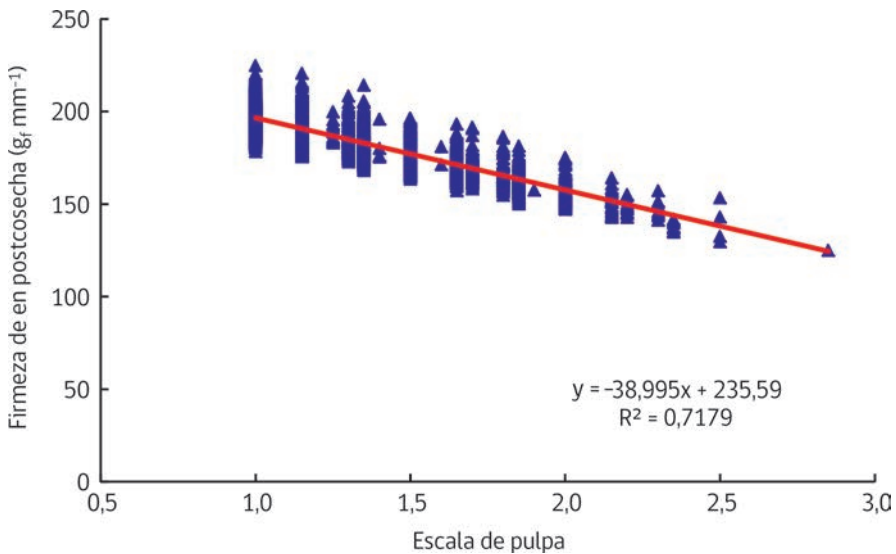


Figura 2.4. Relación entre la escala de apariencia de pulpa a cosecha (1, 2 y 3), y la firmeza instrumental de fruta a postcosecha en la temporada 2020-2021 de las variedades Cargo, Blue Ribbon, Top Shelf y Brigitta, luego de almacenamiento a 30 días en 0° C con aire regular y bolsa microperforada al 0,3%.

De esta información es importante considerar la alta variabilidad en cuanto a firmeza dentro de cada escala de pulpa, incluso siendo posible observar en fruta con pulpa avanzadas en apariencia (nivel 3), fruta en el rango firme luego de 30 días. Es decir, no necesariamente una pulpa avanzada está relacionada a una fruta blanda a cosecha, pero si existe una mayor probabilidad de tener fruta blanda si cosecho materia prima en estado avanzado de madurez, lo cual está descrito en la literatura. En estos estudios fue posible observar una relación lineal entre la firmeza instrumental y la apariencia de pulpa. Esta relación fue significativa y directamente proporcional; por lo tanto el aumento de las escala de apariencias de pulpas puede generar un aumento en la incidencia de frutos blandos al tacto en la etapa de postcosecha. Es decir, la estrategia de evaluar pulpa a cosecha podría tener un uso como herramienta predictiva del ablandamiento luego de almacenamiento.

De aquí la necesidad de iniciar de manera oportuna las cosechas y, sobre todo definir los intervalos entre cosechas dentro de un mismo cuartel. Mientras mayores sean los tiempos entre éstos, mayor es la posibilidad de cosechar frutos sobre-maduros y con esto mayor será la probabilidad de tener frutos blandos en postcosecha, independiente de la tecnología seleccionada durante almacenamiento y transporte.

A partir de esta información, se ha continuado con el uso de la apariencia de la pulpa como variable para determinar el momento de cosecha. Quizás una de las mayores limitaciones es la medición que se realiza, determinando la apariencia de pulpa visualmente con tabla de condición de pulpa hedónica por variedad o grupo de variedades. Para esto, al partir frutos que son cortados a nivel ecuatorial a medida que avanza la madurez se manifiestan zonas acuosas desde el exterior al interior del fruto. Eso sí, como en todos los casos hay excepciones, siendo uno de ellos es la variedad Ventura, donde su pulpa no manifiesta cambios a regiones acuosas, sino que aumenta su harinosidad a medida que avanza su madurez. Sin dudas el desarrollo de herramientas no destructivas que permitan evaluar un volumen importante de fruta facilitará la implementación de esta estrategia.

Complementando el estudio anterior, en las temporadas 2020-21 y 2021-22 en las localidades de Freire y Galvarino de la Región de La Araucanía, se buscó determinar otro índice de cosecha independiente del color externo de la fruta ampliamente usado en arándanos como se comentó. Para ello, se evaluó el uso de la apariencia de pulpa, calibre (mm), sólidos solubles totales (%) y acidez titulable (%) como predictores de la firmeza en postcosecha ($g_f \text{ mm}^{-1}$). En cosecha se utilizaron grupos de frutos con similar firmeza, para luego analizar los parámetros anteriormente señalados. Una parte de los frutos cosechados se llevó a frío por 30 días a 0 °C, con bolsa microperforada 0,3% para las evaluaciones de postcosecha. En ambas temporadas, para frutos en apariencia de pulpa 2, el calibre de fruto se correlacionó inversamente con la firmeza a postcosecha de los frutos (p -valor $<0,05$), donde a medida que aumenta el calibre de los frutos, la firmeza a postcosecha disminuyó (**Figuras 2.5 y 2.6**), lo que concuerda con lo reportado por Ballinger *et al.* (1973), en donde los arándanos más pequeños tienden a ser ligeramente más firmes que los más grandes.

Por otro lado, al evaluar la relación sólidos solubles totales y firmeza de postcosecha en apariencia de pulpa 2, en la temporada 2020-21 este parámetro mostró una correlación negativa (p -valor $<0,05$), donde a medida que aumenta

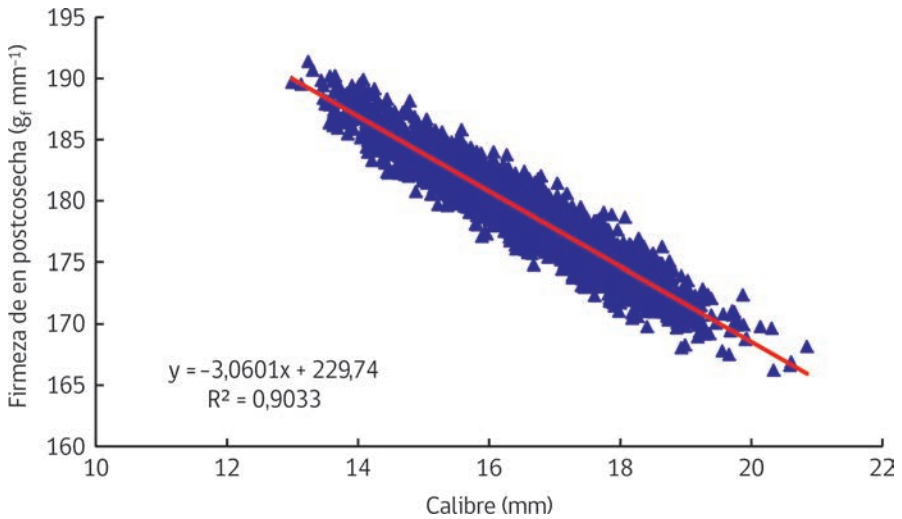


Figura 2.5. Relación entre calibre (mm) y firmeza de fruto a postcosecha (g_f mm⁻¹) en frutos con pulpa con apariencia en escala 2. Frutos de Brigitta, Blue Ribbon, Top Shelf y Cargo cosechados desde la comuna de Freire, Temporada 2020-2021.

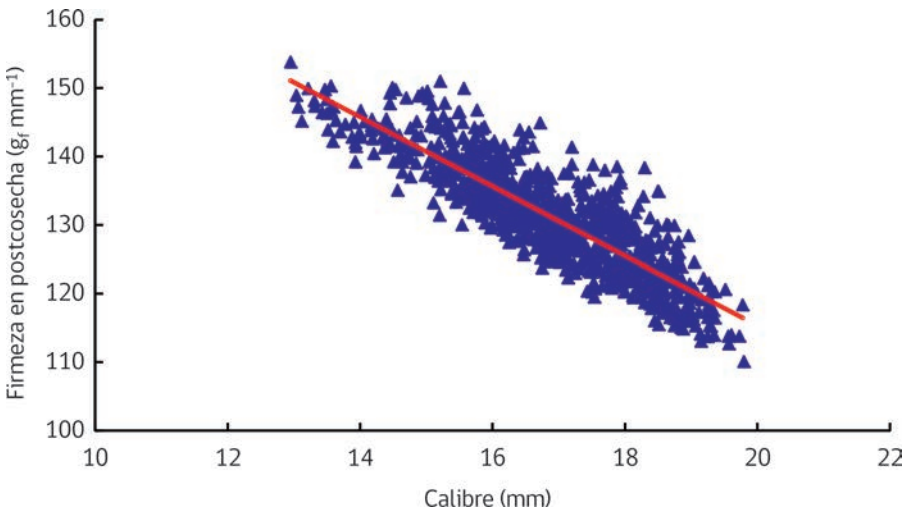


Figura 2.6. Relación entre calibre (mm) y firmeza de fruto a postcosecha (g_f mm⁻¹) en pulpa con apariencia 2. Frutos de Top Shelf, Legacy y Brigitta bajo coberturas plásticas (LDPE, Malla y Rafia) cosechados desde la comuna de Traiguén, Temporada 2021-2022.

el contenido de sólidos solubles totales disminuye la firmeza en postcosecha, mientras que para la temporada 2021-22 cosechada al norte de la Región de La Araucanía bajo coberturas, esta relación no fue significativa (**Figura 2.7**). A medida que el fruto se va desarrollando, va disminuyendo su firmeza y aumentando el contenido de sólidos solubles totales (ver 2.1.4). Al analizar los resultados, la significancia encontrada en la comuna de Freire cultivados al aire libre, nos permite observar un amplio rango de valores de sólidos solubles totales (%) en escala de pulpa 2, mientras que en los tratamientos bajo coberturas, el rango de contenido de SST es más acotado y no logra correlacionarse significativamente con la firmeza a postcosecha.

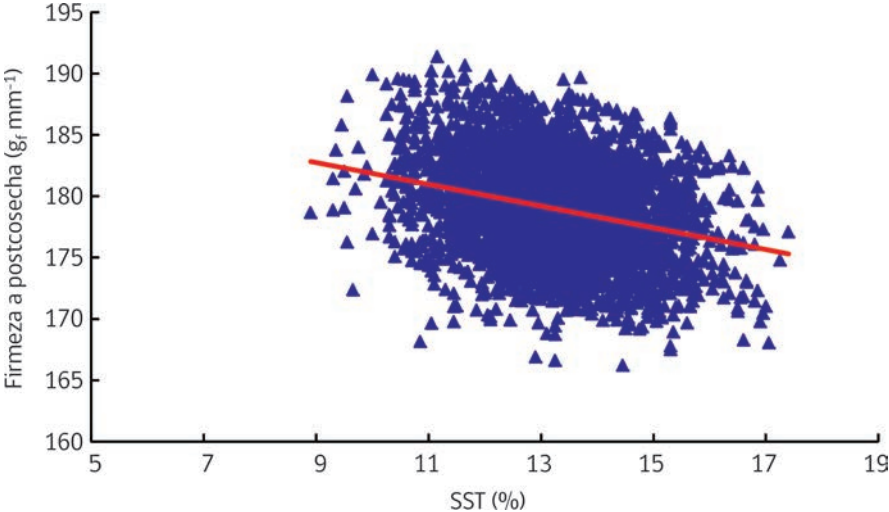


Figura 2.7. Relación entre contenido de sólidos solubles totales (%) y firmeza de fruto a postcosecha ($g_f \text{ mm}^{-1}$) en pulpa con apariencia 2. Frutos de Brigitta, Blue Ribbon, Top Shelf y Cargo cosechados desde la comuna de Freire, Temporada 2020-2021.

En la temporada 2021-22 con las variedades bajo coberturas plásticas, la acidez titulable se correlacionó directamente con la firmeza de fruto postcosecha en ambas apariencias de pulpas (1 y 2), no así en la temporada 2020-21 cosechada desde la comuna de Freire con las variedades al aire libre (**Figura 2.8**). Bajo cobertura a medida que los frutos presentaron mayor acidez estos llegaron con una mayor firmeza a postcosecha. Estos resultados reafirman que el contenido de acidez del fruto es multifactorial, donde la variedad, localidad y clima pueden afectar el contenido de este.

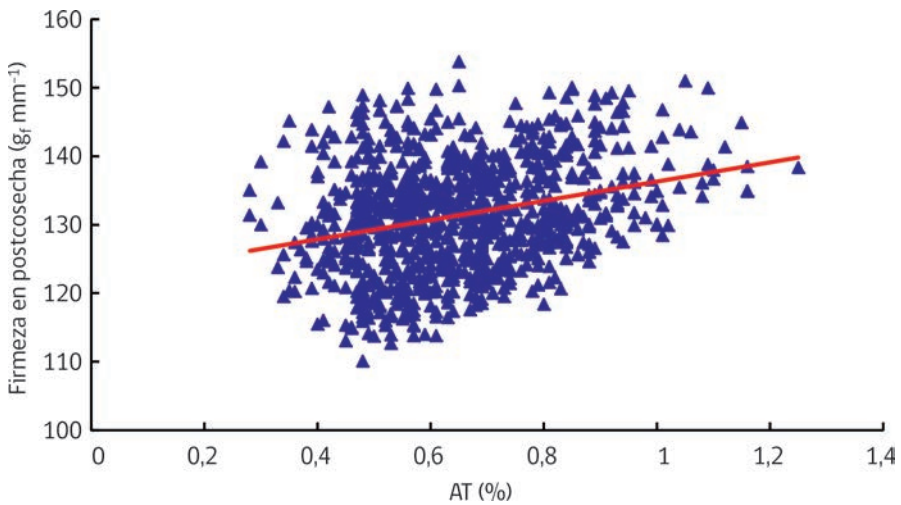


Figura 2.8. Relación entre acidez titulable (%) y firmeza de fruto ($g_f \text{ mm}^{-1}$) en pulpa con apariencia 2. Frutos de Top Shelf, Legacy y Brigitta bajo coberturas plásticas (LDPE, Malla y Rafia) cosechados desde la comuna de Traiguén, Temporada 2021-2022.

2.1.5. Sólidos solubles totales y acidez titulable

Como se mencionó, la maduración va acompañada de cambios químicos en la composición de las bayas, donde los azúcares se acumulan durante el desarrollo y la maduración de la fruta, mientras que permanecen relativamente estables durante el período posterior a la cosecha. Por lo tanto, es importante resaltar que si bien el arándano es considerado un fruto climatérico por su comportamiento respiratorio, no hay una acumulación de azúcares posterior a la cosecha, como sí ocurre en otros frutos climatéricos clásicos como manzana y banana, entre otros. De observar aumentos de azúcares en la etapa de postcosecha, sin dudas esto va ligado a una excesiva deshidratación del fruto, o a una inadecuada medición del nivel de azúcares.

Para realizar un seguimiento de estos parámetros, generalmente se requiere de un muestreo destructivo y en ocasiones requieren de análisis químicos algo más complejos al medir metabolitos que determinan ambos atributos.

Desde el jugo obtenido de las bayas es posible evaluar el contenido de sólidos solubles totales y la acidez titulable. El primer parámetro se refiere a la cantidad de SST presente en una unidad de volumen de solución. Estos sólidos incluyen

azúcares, ácidos orgánicos, pigmentos y pectinas solubles, entre otros. En general en gran parte de los frutos, del total de sólidos solubles totales, más de un 60% está determinado por la presencia de azúcares responsables del dulzor. Por lo tanto, en especies como uva de mesa y arándano, la medición de sólidos solubles totales está cercana al contenido total de azúcares. En otras especies, como frutilla o fresa, del total de los SST medidos, sólo un 60% equivale a azúcares, y el resto está definido por ácidos (10%), antocianinas (21%), pectinas solubles (7%) y otros (2%). Usualmente, el nivel de SST se mide con un refractómetro, que mide el contenido de azúcar de las soluciones azucaradas, donde el azúcar es el principal componente. La unidad de medición es de 1 grado Brix (°Bx) que es igual a 1% de sacarosa, por lo cual nuestra muestra estaría compuesta por 1 g de sacarosa en 100 g de solución a 20 °C.

Por otro lado, el principal ácido orgánico en arándanos es el ácido cítrico (Smrke, 2021), que aumenta durante el desarrollo del fruto y disminuye durante los períodos de maduración tardía y postcosecha. En general se determina por titulación con NaOH (0,1 N) hasta un punto final de pH de 8,2. Debido a la mayor complejidad de este último análisis, en el mercado es posible encontrar instrumentos digitales con mayor facilidad de implementación y a un precio accesible. En general, es una medición no ampliamente realizada por productores y exportadores, pero que cobra importancia bajo condiciones de alta acidez titulable, como ocurre con algunos genotipos o zonas productoras.

Al asociar este índice de madurez con la firmeza del fruto (**Figura 2.9**), se observa que en general frutos con alta acidez presentan una mayor firmeza, efecto que está dado principalmente por el menor estado de desarrollo del fruto, donde se presentan los mayores valores de acidez. Sin embargo, lograr una mayor firmeza de la materia prima a cosecha a través de una cosecha incipiente no es viable, ya que tiene limitaciones tanto a nivel de la apariencia con un menor nivel de cubrimiento, así como un desbalance en la relación SST/AT, discutida a continuación. Por otro lado, es esperable que frutos que lograron un color azul de cubrimiento, y sigan aún en el arbusto presentarán tanto una baja en acidez como una menor firmeza por el avance de madurez ya descrito.

Por la asociación de los SST y AT con la madurez del fruto, una adecuada relación entre ambos ha sido asociada con la calidad de guarda para resistir transporte a grandes distancias, pero además es un indicador de calidad a considerar en el arándano, ya que como consumidores buscamos un fruto dulce que además tenga la acidez característica del género *Vaccinium*.

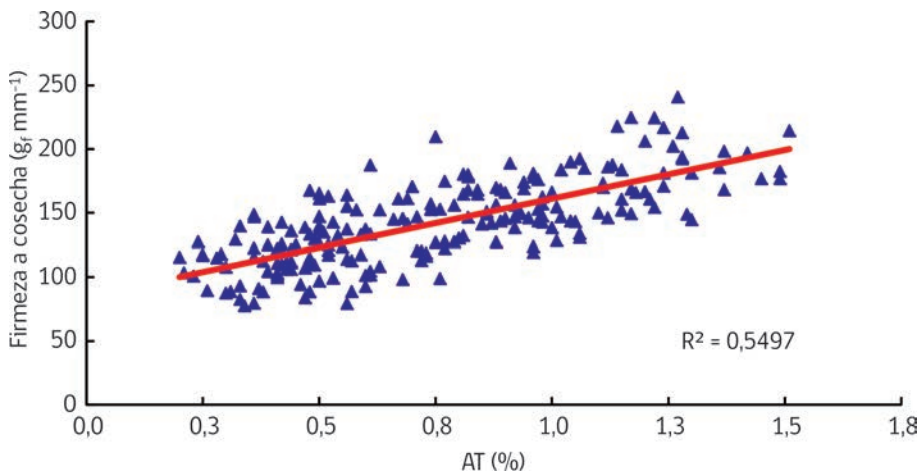


Figura 2.9. Acidez titulable y firmeza de frutos a cosecha en la variedad Cargo, temporada 2020–2021. Comuna de Freire, Región de La Araucanía.

En relación a la calidad de guarda de los arándanos, en la literatura se distinguen 3 categorías (Galletta *et al.*, 1971): (i) valores menores a 18 indican una buena calidad de guarda, (ii) Valores entre 18 y 32 indican una calidad media de guarda y (iii) valores mayores a 32 indican calidad de guarda baja. Sin embargo, dada la existencia actual de un gran número de variedades y la incorporación de nuevas zonas agro climáticas más cálidas, como la Macrozona Norte de Chile, Perú y México, es necesario revisar estos parámetros asociados a un tema tan importante como es la duración de la vida útil de la fruta.

Al analizar la relación entre SST/AT y la firmeza de la fruta a cosecha, es esperable por lo ya discutido, que a medida que tenemos una mayor relación SST/AT tendremos una menor firmeza de la fruta a cosecha (**Figura 2.10**).

Cabe destacar que, dentro del gran abanico de variedades cultivadas, se ha sugerido que la relación sólidos solubles totales/acidez titulable es importante para definir las diferencias de calidad entre estas. En este sentido hay variedades con una mayor acidez total que otros, por tanto, para ser usado como índice de madurez, este depende en cierto punto de la variedad cultivada.

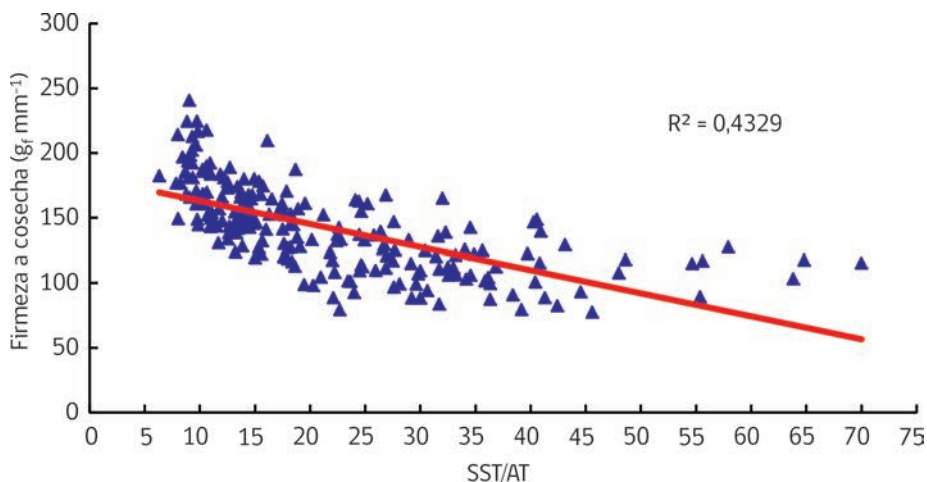


Figura 2.10. Firmeza a cosecha y relación sólidos solubles totales/acidez titulable en variedad Cargo, cosechadas desde Freire, Región de La Araucanía, Temporada 2020-2021 .

2.1.6 Materia seca

La materia seca (MS) de la fruta es el resultado de la acumulación de carbohidratos, almidones, azúcares, aceites, proteínas, antioxidantes, vitaminas, minerales, fibra, lípidos, compuestos volátiles, etc., junto con una acumulación de carbohidratos estructurales como la fibra y la piel. En algunas especies frutales se ha encontrado que el contenido de MS está asociado a la calidad de frutos en cosecha y postcosecha; como por ejemplo en manzana, kiwis y palta. Como referencia, el porcentaje o contenido de MS promedio reportado para frutos de las principales especies frutales de interés para Chile y países del hemisferio sur es 14,4% en manzana, 12,5% en ciruela, 16,0% en kiwi, 13,8% en cereza, y 19,7% en uva de mesa (Tagliavini *et al.*, 2000). En un estudio donde se determinó la MS de frutos de arándano de las variedades Ochlockonee, Brightwell, Aurora y Liberty, y los valores fluctuaron entre 13,9% y 21,0% (Hirzel *et al.*, 2018). Sin embargo en esta especie no se han encontrado correlaciones positivas entre la MS y la calidad en postcosecha, por lo cual es un parámetro que no se suele usar generalmente para estimación de vida útil.

La determinación de materia seca se realiza registrando el peso fresco de los frutos de una muestra en una balanza digital para luego secar la muestra a una temperatura de 65 °C por un periodo de 72 h, en un horno de secado. Una vez que las muestras están secas, se determina su peso seco. El contenido de MS en frutos se determina como la relación porcentual entre peso seco y peso húmedo. Hoy además existen instrumentos para medir en campo, estos se basan en la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) de manera que no es necesario la destrucción de la muestra. Estos instrumentos son comúnmente usados en paltas.

2.2. Comentarios finales

A diferencia de los índices de madurez, los índices de cosecha son fácilmente observables y se emplean en campo. Estos se utilizan como la principal indicación para los cosecheros a la hora de recolectar la fruta. Si bien existen varios índices de madurez, estos no siempre son un índice de cosecha ideal, debido a que en su mayoría son índices destructivos, lo que no permite evaluar la suficiente cantidad de frutos para realizar la cosecha. Si bien la firmeza es un buen índice de madurez, no es un buen índice de cosecha, debido a que no se puede dar como indicación que se cosechen frutos firmes, ya que esto significa manipular las bayas del racimo hasta encontrar la firmeza adecuada, lo que provocaría consecuencias como la pérdida de "*bloom*", y de paso este seguimiento al tacto sería subjetivo.

Si bien el arándano tiene más de un índice para determinar madurez, sólo el color es el índice de cosecha utilizado, donde la baya pasa de color verde a rosado para que luego el color azul tome su protagonismo (25% cobertura azul, 75% cobertura azul hasta lograr un 100% de cobertura azul). El problema de cosechar por color, se genera cuando se alcanza en su totalidad el color azul, ya que cuando se recolectan frutos, no es posible observar diferencias (determinado visual o instrumentalmente) en frutos que recién alcanzaron el color azul con otros que llevan más días residiendo en el arbusto. Por lo tanto, luego del 100% de cobertura azul, este índice de madurez no cumple con las características que debe tener un índice de cosecha ideal. Al enfrentar una cosecha, es común observar variabilidad en las bayas en firmeza y apariencia interna. Este problema hace necesario buscar otro índice de cosecha que pueda complementar el color y que ayude a cosechar fruta en el momento de máxima calidad.

En este sentido, los estudios que han llevado a cabo el equipo de INIA promueven el uso de la apariencia de pulpa como una herramienta predictiva que puede acompañar el uso del color. Como ya se mencionó, la apariencia de pulpa por una parte permitirá decidir el momento oportuno para la cosecha con máxima calidad o en el caso de tener un gran porcentaje de sobremadurez optar por una cosecha mecanizada si es viable. En el primer caso permitirá además elegir la mejor alternativa de destino. En consecuencia, la decisión de cuándo cosechar la puede tomar el productor, mientras que la selección del color recaerá en el cosechador.

2.3. Referencias

- Ballinger, W., Kushmann, L., Hammann, D., 1973. Factors affecting the firmness of highbush blueberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98, 583-587
- Gough, R.E., 1994. *The Highbush Blueberry and Its Management*. US, New York, Binghamton, Food Product Press, 267
- Galletta, G., Ballinger, W., Monroe, R., Kushman, L., 1971. Relationships between fruit acidity and soluble solids levels of highbush blueberry clones and fruit keeping quality, *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 86, 758-762.
- Hirzel, J., Rojas, J., Sepúlveda, D., Rojas, S., Radrigán, R., 2018. ¿Existe relación entre firmeza y contenido de materia seca en frutos de arándano?. *Ciencias Agronómicas - Revista XXXII*. 020 - 025
- Kader, A.A., 2002. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California Agriculture and Natural Resources, California.
- Moggia, C., Graell, J., Lara, I., Schmeda-Hirschmann, G., Thomas-Valdés, S., Lobos, G.A., 2016. Fruit characteristics and cuticle triterpenes as related to postharvest quality of highbush blueberries. *Scientia Horticulturae*. 211, 449-457. doi: 10.1016/j.scienta.2016.09.018.
- Retamales, J.B., Hancock, J.F., 2018. *Blueberries*, 2nd Edition. *Crop Production Science in Horticulture Series*, 28. CABI. Boston. Chapter 9: Pre- and postharvest management of fruit quality. 343-347.

- Smrke, T., Veberic, R., Hudina, M., Stamic, D., Jakopic, J., 2021. Comparison of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) under ridge and pot Production. Agriculture. 11, 929. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100929>
- Shoemaker, J., 1978. Small Fruit Culture. 5th ed. Westport: The AVI Publishing Co. Ltd. 357.
- Tagliavini M., Zavalloni C., Rombolà A.D., Quartieri M., Malaguti D., Mazzantini F., Millard, P., Marangoni, B., 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. Acta Horticulturae, 512, 131-140.
- Vargas A., Perez J., Zoffoli J.P., Perez A., 2000. Evolución de la textura de bayas de uva del cv. Thompson Seedless. Cien. Inv. Agr., Vol. 27, 117-126
- Vargas, G., Soto, R., Rodríguez, M.T., 2002. Análisis preliminar de antocianinas en fruto de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.). Revista Fitotecnia Mexicana, 25, 261-264.
- Zapata, L.M., Malleret, A.D., Quinteros, C.F., Lesa, C.E., Vuarant, C.O., Rivadeneira, M.F., Gerard, J.A., 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. Ciencia, Docencia y Tecnología, XXI(41),159-171. [fecha de Consulta 11 de Octubre de 2022]. ISSN: 0327-5566. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14515335008>

Capítulo 3

Uso de cobertura y su efecto en postcosecha

Abel González G.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Iverly Romero M.

Ingeniera Agrónoma, M.Sc.

Edgard Álvarez R.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Gabriel Neumann L.

Ingeniero Agrónomo

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

La actual condición productiva con incrementos de temperatura en periodos críticos, mayor demanda hídrica, disminución de las precipitaciones y en especial el aumento de la frecuencia y magnitud de eventos climáticos extremos como lluvias torrenciales, heladas, granizos y exceso de radiación, hacen del uso de coberturas una tecnología de alto interés como sistema de protección de cultivo contra el riesgo climático y, con ello, asegurar que el productor evite pérdidas de rendimiento, de calidad y condición de fruta. Esta herramienta es cada vez más utilizada en la producción de frutales tales como uvas, cerezas, manzanos y arándanos. Esto no significa que en todos los casos el objetivo de su uso sea el mismo.

En cerezos, por ejemplo, estos se han transformado en una excelente opción para evitar el daño por partidura o cracking de la fruta frente a la presencia de lluvias. Por otra parte, estas estructuras pueden adelantar algunas semanas la cosecha. Sin embargo, no siempre este objetivo se logra concretar.

El uso de las coberturas en arándano tiene como principal objetivo ejercer protección frente a la lluvia, granizo y heladas. En este sentido la producción de arándano presenta limitaciones durante la etapa productiva, donde muchas de ellas se expresan sólo en la calidad y condición de la fruta que llega a destino. Dentro de éstas, las precipitaciones en floración y en período cosecha son las causas de mayores pérdidas de productividad y condición de fruta en destino, especialmente

para la zona sur de Chile. Al respecto, precipitaciones mayores a 60 mm en pleno estado de floración ocasionan fuertes caídas en el número de yemas cuajadas, con disminución de rendimiento del orden de un 20% - 40%, en comparación a un año normal. Ahora esta vulnerabilidad depende en gran medida de la variedad y de la extensión del periodo de floración, así en variedades con floración más acotada, ante un evento climático las pérdidas de flores pueden ser importantes.

En el verano en zonas como La Araucanía o Los Lagos, existen probabilidades altas de precipitación. Así, dependiendo del número e intensidad de las precipitaciones, ha sido posible evaluar que hasta un 40% del total de la fruta de un huerto es destinado a IQF (*Individual Quick Freezing*) luego de 4 eventos mayores a 10 mm de precipitación.

Otro aspecto negativo atribuible a las precipitaciones en verano es la influencia de éstas en la frecuencia de cosecha. Al producirse un evento de lluvia las labores de cosecha deben detenerse hasta que la fruta sea secada por el sol, produciéndose colateralmente sobre madurez y ablandamiento de los frutos cosechados en un verano lluvioso. Sumado a lo anterior, la fruta embalada para fresco en años con altas precipitaciones en cosecha presenta problemas de condición en destino expresados principalmente en la presencia del micelio y pudrición ocasionado por *Botrytis cinerea*, ablandamiento y deshidratación. La interacción de todos los eventos mencionados sin dudas influye y limitan la obtención de una fruta con buena calidad en destino, y no existe tecnología de postcosecha que pueda solucionar un problema generado durante la precosecha.

3.1 Coberturas plásticas

En el mercado hay diferentes alternativas cuyas propiedades mecánicas varían entre sí y actualmente son tres las comúnmente usadas: plásticos, rafia y malla. Los laminados o rafias corresponden a una trama de tejido con hebras en los dos sentidos muy similar a los textiles. Estos plásticos están generalmente hechos de polietileno de alta densidad (HDPE) con una o dos capas o láminas (*coating*) de polietileno de baja densidad (LDPE) que le confiere protección y aumenta su condición de impermeabilidad, donde esta cobertura tiene por objetivo la protección climática. Además, tienen gran resistencia mecánica lo que le otorga una larga vida útil. Por otro lado, en plástico, lo más usado es el film de LDPE, con espesores que van desde 70 a 150 micras (μm), que permiten el paso de la

luz sobre un 85%. También cumple con el efecto de protección climática, con modificación de la temperatura y la humedad relativa (Marfán & García, 2018). No obstante, se rasgan con mayor facilidad y duran menos temporadas. Por último, las mallas, consisten en un tramado o tejido de hilos de polietileno (PE). Lo más recurrente en el mercado son mallas de monofilamento cilíndrico de polietileno de alta densidad, que otorgan un cierto porcentaje de sombra. Estas no protegen por completo de las lluvias, pero sí de los granizos y su uso más común va dirigido al sombreado y la selectividad del espectro lumínico (**Figura 3.1**).



Figura 3.1. Tipos de coberturas de protección utilizadas en arándanos.

3.2 Modificación de parámetros ambientales

Si los eventos climáticos anteriormente mencionados son recurrentes en un huerto, antes de considerar las coberturas se debe tener muy claro que sucede bajo éstas, ya que los cambios en el microclima bajo cada uno de estos materiales condicionan los manejos agronómicos. Así, el uso de cubiertas afecta las variables agroclimáticas, disminuyendo la disponibilidad de luz, incrementando la temperatura y humedad relativa del aire (Singh *et al*, 2012, Cowan *et al*, 2014). Dichos cambios sin duda tienen efectos sobre la fisiología de las plantas, la productividad del cultivo y condición de fruta en destino.

Un estudio realizado por el equipo de INIA Carillanca comparó dos tipos de films impermeables; LDPE y rafia en estructuras tipo capilla en un huerto de arándano en la comuna de Freire, Región de La Araucanía. En este ensayo se instalaron estaciones meteorológicas para realizar un seguimiento de las condiciones climáticas en ambas coberturas.

3.2.1 Radiación neta

Los resultados en radiación solar ($W m^{-2}$) medida sobre la superficie mostraron una disminución bajo las cubiertas, respecto a la condición al aire libre (control), y estas coberturas no lograron diferenciarse notoriamente entre sí (**Figura 3.2**). En este sentido si se compara la transmisión de radiación solar (paso de la radiación por el material), las coberturas en octubre alcanzaron una disminución de un 50% en promedio con respecto al control, mientras que en diciembre esta disminución en la transmisión fue de un 36% en promedio.

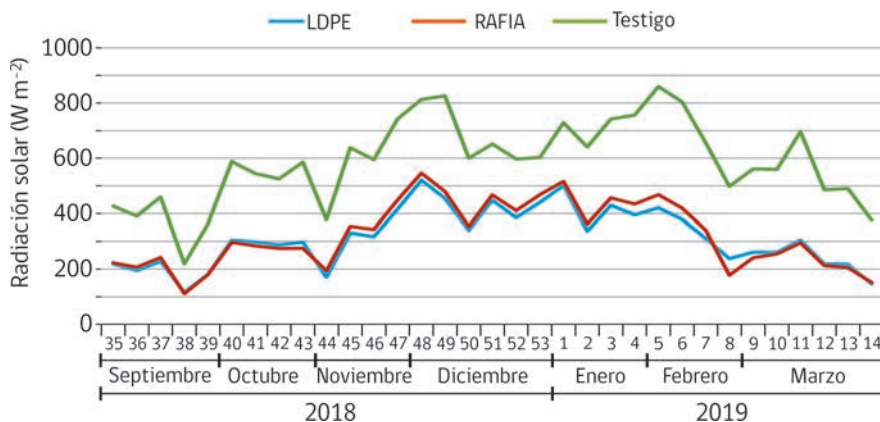


Figura 3.2. Radiación global ($W m^{-2}$) sobre la superficie por semanas en huerto de Freire, Región de La Araucanía, Temporada 2018-2019.

Los resultados de estas transmisiones en coberturas y los encontrados en literatura son variados. Bastías & Leyton (2018) describen que en un día soleado encontraron una disminución en promedio de un 58% la cantidad de luz fotosintética transmitida cuando compararon rafia y plástico con un control. Esto varió en un día nublado, en donde esta disminución en la cantidad de luz fotosintética fue de sólo un 36%.

La evolución diaria de la radiación solar global para una semana de diciembre se presenta en la **Figura 3.3**, donde se evidencia nuevamente que las coberturas disminuyen la intensidad de la radiación solar. Esta disminución dependerá de las características del material usado, ya que un mismo material denominado “plástico” podrá tener distinto espesor, componentes químicos, entre otros.

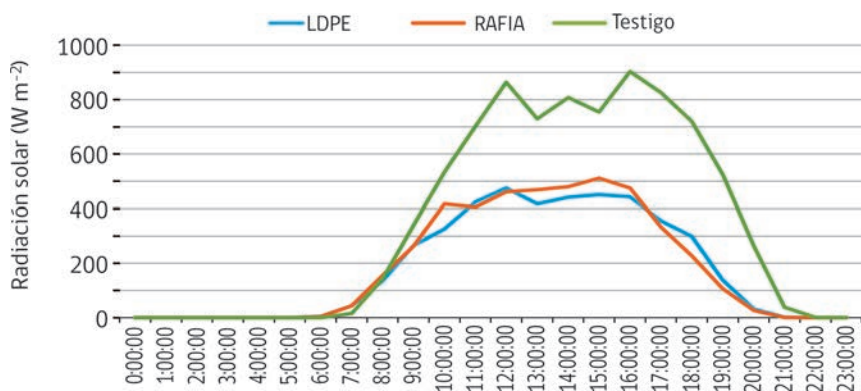


Figura 3.3. Variación diaria de la radiación solar global ($W m^{-2}$) sin cubierta y bajo cubierta en la semana 50 de la temporada 2018-2019, comuna de Freire, Región de La Araucanía.

3.2.2. Temperatura ambiente

El uso de coberturas aumentó la temperatura máxima registrada del aire respecto al testigo sin cobertura (**Figura 3.4**). Los aumentos bajo cobertura se hacen más evidentes hacia el verano, pasando de aumentos de $1,4^{\circ}C$ en promedio en el mes de noviembre a $2,4^{\circ}C$ por sobre el control en el mes de febrero. Estas temperaturas máximas se observaron principalmente durante las horas de la tarde, entre las 15:00 y las 18:00 horas. Respecto a las temperaturas mínimas, no se observaron diferencias notorias entre el uso y no uso de coberturas.

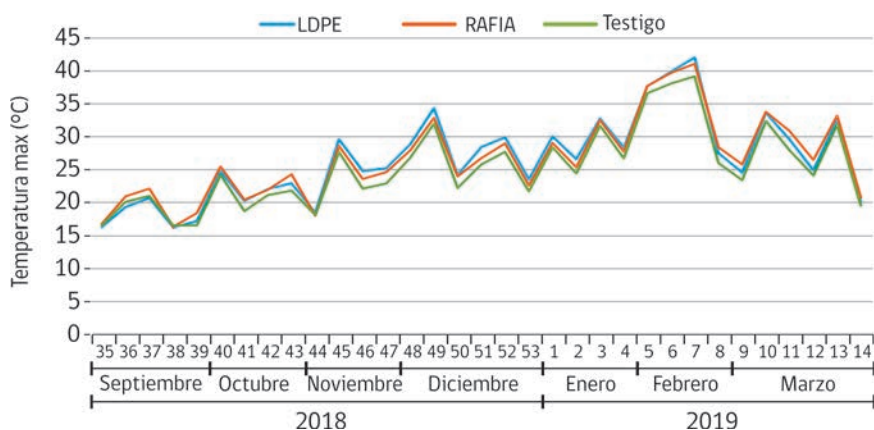


Figura 3.4. Temperatura máxima del aire ($^{\circ}C$) bajo coberturas y al aire libre. Temporada 2018-2019, comuna de Freire, Región de La Araucanía.

Un aspecto importante a considerar, y quizás más importante que el registro de las temperaturas máximas, son las horas entre una determinada temperatura donde el arándano es fotosintéticamente activo. En relación a lo anterior, en octubre y noviembre el recuento de horas entre 18 y 28 °C fue superior bajo coberturas (**Figura 3.5**). Las temperaturas por sobre 28 °C se observaron desde noviembre 2018 a marzo 2019, donde en todos los meses evaluados, las coberturas presentaron más horas por sobre este umbral.

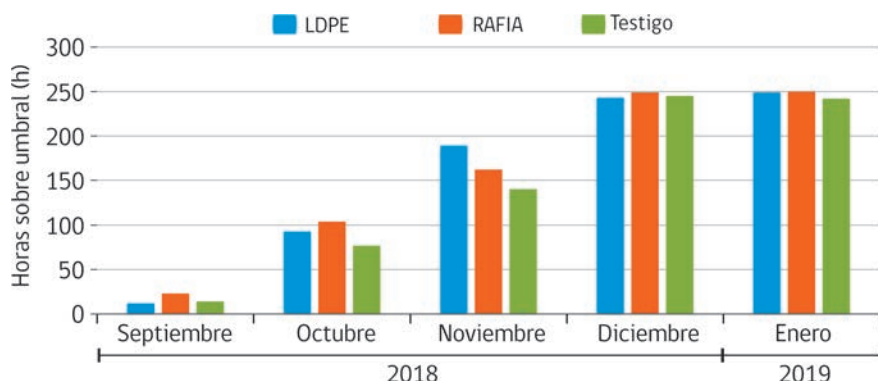


Figura 3.5. Horas mensuales de temperatura entre 18 y 28 °C bajo coberturas y al aire libre. Temporada 2018-2019, comuna de Freire, Región de La Araucanía.

3.2.3 Viento

El viento podría influir en el crecimiento de las plantas, por lo cual analizar los resultados de este parámetro podría ser interesante. Desde septiembre en adelante no se observaron diferencias notorias entre el uso de coberturas y al aire libre, no así desde enero hasta marzo (**Figura 3.6**). En este periodo el tratamiento al aire libre mostró una velocidad de viento significativamente más alta que los tratamientos con coberturas. Este efecto errático en el periodo evaluado, podría estar en relación a la dirección del viento y la orientación de las cubiertas en los distintos meses evaluados (Salazar *et al.* 2019). Con respecto a la variación diaria, entre las 11 y 18 horas la velocidad del viento al aire libre es mayor (**Figura 3.7**).

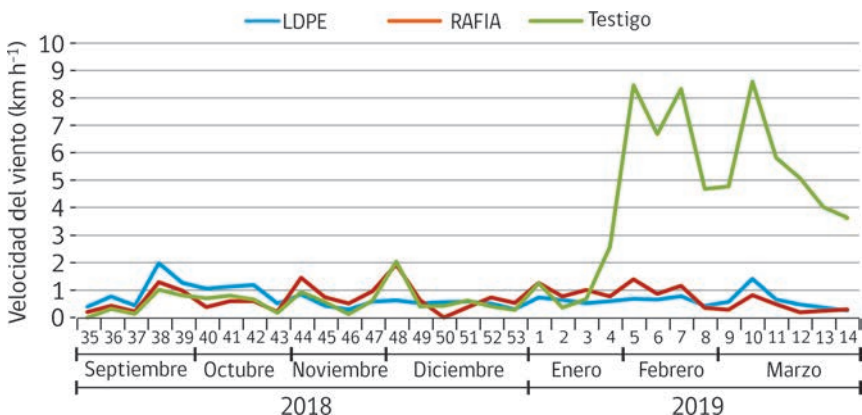


Figura 3.6. Velocidad del viento por semanas (km h^{-1}) bajo coberturas y al aire libre. Temporada 2018-2019, comuna de Freire, Región de La Araucanía.

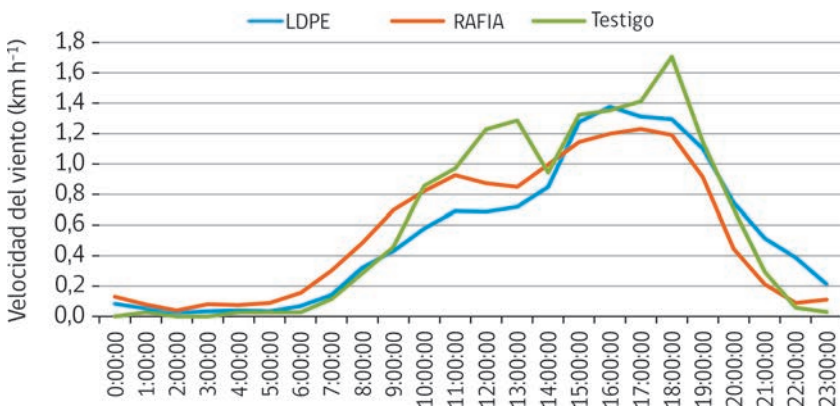


Figura 3.7. Variación de la velocidad del viento diaria (km h^{-1}) bajo coberturas y al aire libre en diciembre. Temporada 2018-2019, comuna de Freire, Región de La Araucanía.

3.2.4 Humedad relativa

La humedad relativa (HR) es la concentración de vapor de agua del aire en relación con la concentración de vapor de agua máxima que puede contener el aire” (Salazar *et al.* 2019). Durante las determinaciones a mediodía (11:00 y 15:00 h) de la temporada 2018-2019 las menores humedades relativas se observaron en el tratamiento al aire libre (**Figura 3.8**). Por otro lado, la menor humedad relativa coincide con las evaluaciones donde se registra la mayor temperatura.

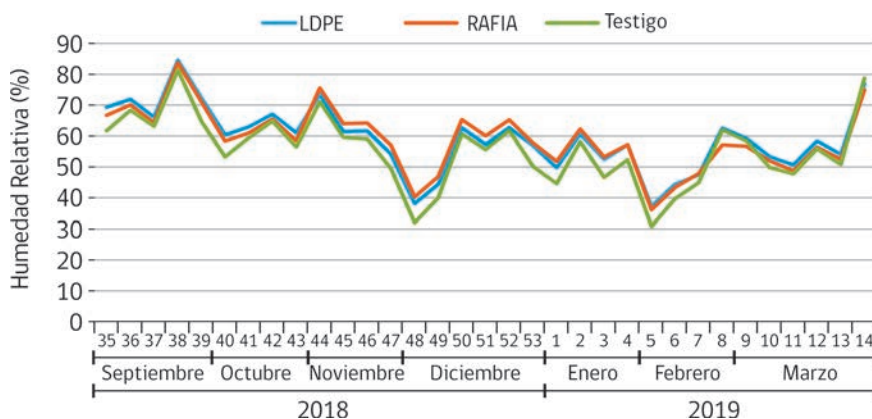


Figura 3.8. Humedad relativa (%) al medio día en temporada 2018–2019 en comuna de Freire, Región de La Araucanía

Respecto a la evolución diaria en enero de 2019, desde las 00:00 hasta las 9:00 horas el tratamiento testigo presentó una mayor humedad relativa, superando en un 4,4% en promedio a los tratamientos con cobertura. Contrario a esto, entre 12 y 22 horas los tratamientos bajo cobertura superaron al control con un 7,1% en promedio.

3.2.5 Evapotranspiración de referencia

Este parámetro indica los milímetros de agua perdidos diariamente, en conjunto, por la evaporación del suelo y por la transpiración de los vegetales en condiciones ideales. Para evaluar este parámetro, los factores ambientales, tales como la radiación solar, el viento, la temperatura y la humedad relativa del aire son considerados. Estos determinan la demanda atmosférica por agua, lo que se expresa a través de la evapotranspiración de referencia (ETo).

En la temporada 2017 y 2018 desde noviembre fue posible observar una menor ETo bajo coberturas y esta diferencia muestra un incremento mientras avanza la temporada (**Figura 3.9**). Así, en condiciones con coberturas, bajo las condiciones descritas, el incremento de la temperatura, no es lo suficiente alto como para contrarrestar la fuerte caída de radiación, viento y el aumento en humedad relativa, lo cual podría provocar una disminución de la demanda de agua del cultivo del arándano (ETo). Similares resultados fueron obtenidos en uva de mesa, por equipo de INIA en conjunto con equipo de la exportadora Subsole. Dr. Selles, a cargo de esta investigación, señala que dicha disminución significa que el cultivo

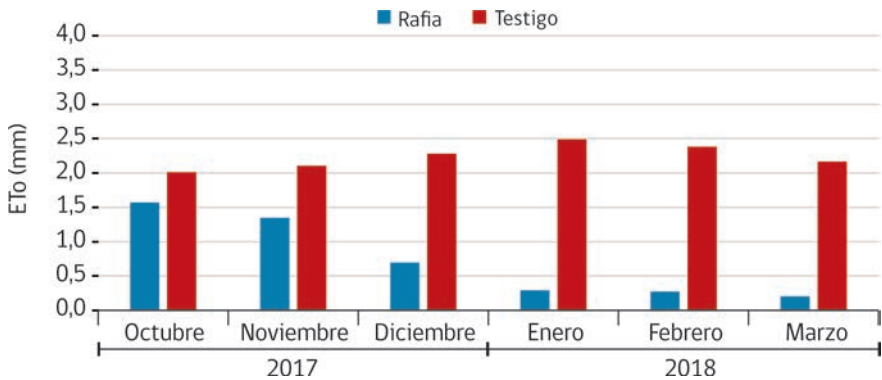


Figura 3.9. Evapotranspiración de referencia (ETo) en la temporada 2017-2018 en comuna de Freire, Región de La Araucanía.

que está bajo plástico consumiría menos agua, pero es algo que aún se encuentra en fase de estudio, dado que bajo condiciones protegidas se produce un avance más rápido en el desarrollo vegetativo de las plantas. Por ejemplo, en una misma fecha, bajo plástico habrá una mayor área foliar y un mayor sombreado, que, al aire libre, lo que está estrechamente relacionado con el coeficiente de cultivo y con el consumo real de agua de la planta.

3.3 Fisiología de la planta bajo cobertura

El efecto de las coberturas sobre la radiación global tiene un impacto sobre la radiación solar que impulsa la fotosíntesis, esta se denomina Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR). Esta se define como la radiación comprendida en el intervalo de 400 a 700 nm y se puede expresar como Flujo de Fotones Fotosintéticos (PPF) en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Esta radiación es absorbida por las plantas, almacenada y transformada a través de sus sistemas fotosintéticos para el crecimiento y desarrollo de las mismas (Durán *et al.*, 2015).

En un huerto de arándanos en Linares, Región del Maule, a través de un radiómetro se midió la densidad de flujo de fotones fotosintéticos en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bajo cada distintos tipos de coberturas (Rafia, LDPE, Malla). Para diciembre al aire libre a las 14:00 h el instrumento registró en promedio $1920 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Todas las coberturas mostraron sombreado, reduciendo el PAR interceptado, no obstante, el tratamiento bajo rafia mostró sólo $514,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en promedio,

siendo el único tratamiento que obtuvo menos de $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación durante la época de crecimiento y maduración de frutos.

De acuerdo a las curvas de respuesta a la luz en arándanos Liberty and Duke a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ generadas por Petridis *et al.* (2018), la tasa de asimilación de carbono (A) aumentó con el incremento de la irradiación lumínica, pero se saturó con una intensidad de luz relativamente baja ($400\text{-}500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PFD). Por lo cual luego de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de PFD se sigue realizando fotosíntesis, pero disipando la energía excesiva que entra al sistema.

Los excesos de luz pueden generar estrés en la planta reduciendo su fotosíntesis, proceso conocido como la fotoinhibición. Por lo tanto, en algunos casos las reducciones de radiación PAR pueden ser favorables. En el caso del arándano (*V. corymbosum*), el hábitat natural de esta especie se caracteriza por condiciones de luz moderada, lo cual algunas reducciones pueden no afectar su desempeño fotosintético. Eso sí, cuando el uso de una cobertura determinada da un gran porcentaje de sombreadamiento, esta puede ser un factor limitante al disminuir esta tasa fotosintética.

La pérdida de agua hacia la atmósfera ocurre en gran medida a través de los estomas que se encuentran en la superficie de las hojas. Estas estructuras con forma de riñón están formadas por dos células oclusivas que dependiendo sus turgencias (entrada de agua) se abren o se cierran. En este aspecto el parámetro conductancia estomática (gs) generalmente medida en $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, condiciona el flujo molar neto de dióxido de carbono (CO_2) que entra o vapor de agua que sale de la planta.

Según Raschke (1979), los estomas son los encargados de proveer la comida y de evitar la sed, por tanto el equilibrio entre la pérdida de agua y la obtención de CO_2 para fotosíntesis es de vital importancia para las plantas. Debido a ello, los estomas están fuertemente controlados por factores ambientales. Según Ball & Berry (1988), existe una ecuación (1) que agrupa los factores que determinan la conductancia o apertura estomática:

$$gs = m (A HR) / Ci + b \quad (1)$$

gs = Conductancia estomática $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (apertura)

A = Fotosíntesis neta

HR = Humedad relativa del aire

Ci = Concentración de CO_2 intercelular.

Los parámetros "m" y "b" son constantes específicas para cada especie.

Como se observa en la ecuación anterior, la humedad relativa en conjunto con la temperatura, juegan un rol importante en la conductancia estomática (gs) de la hoja y de esta forma afecta la transpiración (salida de vapor de H₂O) y la fotosíntesis (entrada CO₂), lo cual, al modificar los parámetros ambientales bajo coberturas, estos podrían influir aumentando o disminuyendo la tasa fotosintética dependiendo del tipo de cobertura que se use, puesto que si se observa un aumento de temperatura y una disminución de la humedad relativa, estos generalmente promueven un cierre estomático de la hoja en distintas especies de árboles frutales (Jones & Lakso, 1995).

3.4 Calidad de la fruta en cosecha y postcosecha

3.4.1 Fecha de cosecha y rendimiento

La temperatura es una de las principales fuerzas impulsoras para el crecimiento y el desarrollo de una planta, por lo que la suma térmica influencia fuertemente el avance fenológico de un cultivo, pudiendo ser esto más relevante que la luminosidad en el control de la fenología. En el marco del proyecto PTEC para el manejo de postcosecha de nuevas variedades de arándanos para la zona sur, se propuso evaluar diferentes coberturas y su efecto en la calidad de la fruta y la postcosecha. Para ello se establecieron dos ensayos, uno en Linares y otro en Traiguén en la zona sur. Las variedades evaluadas fueron Top Shelf, Blue Ribbon, Legacy y Brigitta, las cuales se evaluaron en cosecha, luego de almacenamiento a 30 días en frío y en *shelf-life* (simulación en anaquel).

En Linares, al evaluar el porcentaje de frutos azules en la temporada 2020-21, los tratamientos LDPE y rafia presentaron mayor proporción de frutos azules que el tratamiento control al aire libre y la malla. Este porcentaje obligó a cosechar 7 días antes que los últimos tratamientos mencionados (**Cuadro 3.1**). En esta misma temporada en el huerto de Traiguén en la contraparte comercial Brigitta, la fruta cultivada bajo LDPE y rafia fue cosechada 6 días antes que malla y el tratamiento control. En la temporada 2021-22 en la comuna de Traiguén no se observaron adelantos ni retrasos en las cosechas.

Los resultados en otras investigaciones en el adelantamiento de cosecha en comparación a nuestros resultados son controversiales. Hicklenton *et al.* (2003) cultivando bajo túnel plástico alcanzó una temperatura 4 °C mayor que el tratamiento testigo, observando un adelanto de cosecha, mientras que Lobos *et al.* (2013) al analizar las coberturas de plástico y rafia, que tuvieron un 40 y 70% de sombreado, respectivamente, éstas adelantaron la maduración de la fruta en 6 días en comparación

Cuadro 3.1. Porcentaje de frutos azules con respecto al total de frutos presentes en planta, observados durante peak de cosecha comercial de Legacy para tratamientos de cobertura en la zona de Linares, Región del Maule.

Tratamiento	Frutos azules (%)	
	15 de diciembre	22 de diciembre
Testigo	10,5	44,4
Malla	12,2	46,6
LDPE	47,8	Cosechado
Rafia	54,2	Cosechado

al testigo, no indicando aumentos de temperaturas bajo ellas. Estos resultados dan luces que el efecto de la temperatura sobre el adelantamiento de cosecha tiene gran influencia, ya que, en la zona sur del país las coberturas no alcanzan a aumentar la temperatura sobre 4 °C como en otros reportes, lo cual no provocaría este adelantamiento en la cosecha. Entonces para promover adelantamiento se debe estudiar y seleccionar un material que permita la acumulación de calor.

Al observar los resultados de rendimiento en un huerto de Legacy en la localidad Freire, en la temporada 2018-19, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (3,26 kg planta⁻¹ en promedio). Sí fue posible observar que el incremento de horas entre 18 y 28 °C en octubre y noviembre en las coberturas (rafia y LDPE) modificó la curva de distribución de la producción en arándanos (**Figura 3.10**).

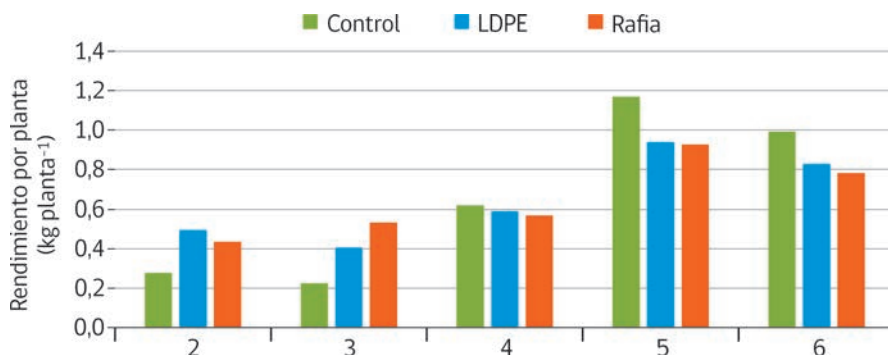


Figura 3.10. Rendimiento por cosechas (kg planta⁻¹) bajo coberturas y al aire libre en el mes de diciembre. Temporada 2018-2019, comuna de Freire, Región de La Araucanía.

Como se observa en la **Figura 3.11**, las cubiertas aumentaron la disponibilidad de fruta en las primeras cosechas de arándanos. En la condición desprotegida se cosechó un 50% menos de fruta respecto a rafia y LDPE, durante la cosecha 3. Cabe señalar que todos los tratamientos fueron cosechados en forma simultánea y bajo un régimen de frecuencia fija, que no sobrepasó un periodo de siete días.

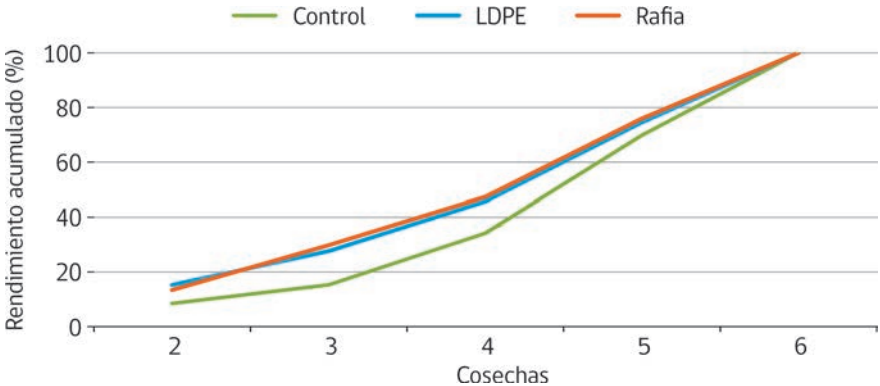


Figura 3.11. Rendimiento acumulado por cosechas (%) bajo coberturas y al aire libre en el mes de diciembre. Temporada 2018-2019, comuna de Freire, Región de La Araucanía.

3.4.2 Firmeza de fruta

Está reportado que el uso de algunas coberturas, en particular las que aumentan la temperatura en el cultivo, como las rafias y plásticos, pueden producir ablandamiento en los frutos (Wallberg & Sagredo, 2012; Bustamante *et al.*, 2021). En arándanos cultivados con uso de coberturas del proyecto PTEC CORFO 66641 “*Manejos de cosecha y postcosecha de nuevas variedades de arándanos en la zona sur de Chile*”, se observó que uno de los principales efectos de este ablandamiento se relaciona con el adelanto de cosecha que ocurre en coberturas con mayor acumulación de calor. Cuando los tratamientos con coberturas de rafia y plástico fueron cosechados en la misma fecha que arándanos sin cobertura o con malla sombreadora, los primeros tuvieron una distribución de firmeza más tendiente a frutos blandos, con valores menores a $140 \text{ g}_f \text{ mm}^{-1}$, que corresponden al valor límite para obtener arándanos firmes medido en FirmPro (**Figura 3.12**). Al adelantar la cosecha en 6 días de los arándanos cultivados bajo rafia y plástico, se obtuvo un aumento de firmeza, de modo que las distribuciones de todos los tratamientos se encontraron sobre los $140 \text{ g}_f \text{ mm}^{-1}$.

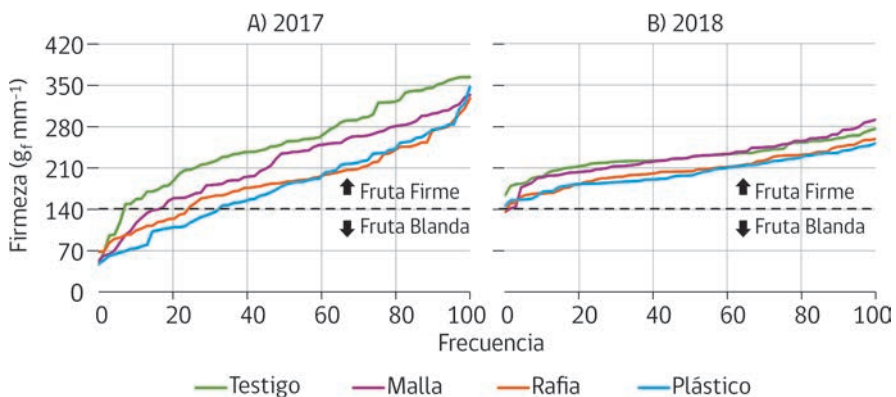


Figura 3.12. Distribución de firmeza ($g_f \text{ mm}^{-1}$) en frutos de arándano, variedad Top Shelf, al momento de cosecha. Figura (A) corresponde a Temporada 2017, y (B) Temporada 2018 pero la cosecha fue realizada 6 días antes. Ambas figuras representan la distribución de firmeza por tratamiento de cobertura.

Esto es evidencia de que al menos una parte del ablandamiento observado por el uso de techo es atribuible a la desincronización de los momentos de cosecha, por lo que al usar este tipo de tecnologías es necesario prever que se requerirá un ajuste en la programación de cosechas, de modo de evitar sobremadurez de la fruta.

Por otra parte, existen reportes de que la condición de la pared celular estaría involucrada en este fenómeno. En algunas investigaciones se ha indicado que la reducción de luminosidad tiene un efecto directo en la pared celular, disminuyendo el contenido total de lignina y el grosor de la pared (Falcioni *et al.*, 2018). Cabe destacar que el uso de cobertura modifica la evapotranspiración del cultivo y, por lo tanto, de no ajustar los volúmenes de riego, se podría estar en una situación de sobre riego lo que está asociado a la generación de fruta blanda en arándano.

Al momento de cosecha en la variedad Top Shelf ubicada en Traiguén, se observó que el tratamiento control presentó valores de firmeza significativamente mayores en comparación a los tratamientos de LDPE y rafia (**Figura 3.13**). El primer tratamiento presentó bayas con un promedio de firmeza de $135,6 g_f \text{ mm}^{-1}$, mientras que los tratamientos bajo rafia y LDPE promediaron $127,5 g_f \text{ mm}^{-1}$. Por otra parte, para la temporada 2020–21 en el huerto ubicado en la comuna de Linares, al momento de cosecha en Legacy, se observó que los tratamientos control y malla presentaron valores de firmeza significativamente mayores en comparación a los tratamientos de LDPE y rafia, resultado que se observó también en años posteriores.

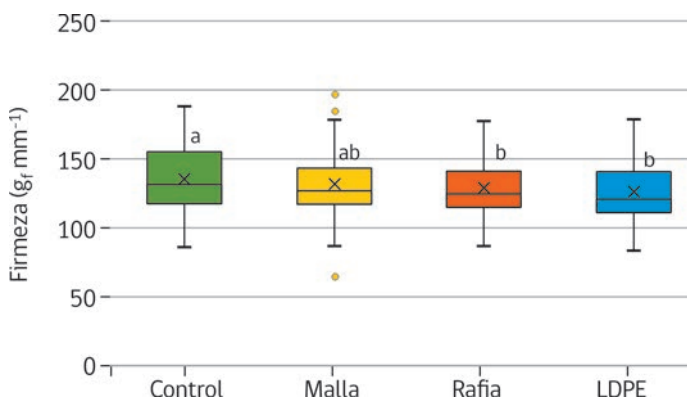


Figura 3.13. Distribución de firmeza ($g_f \text{ mm}^{-1}$) de bayas de arándano, variedad Top Shelf al momento de cosecha en temporada 2020-2021. Huerto ubicado en la comuna de Traiguén, Región de La Araucanía. Letras diferentes indican diferencias significativas por pruebas LSD Fisher.

En Top Shelf después de 30 días de almacenaje a 0°C , nuevamente se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, donde el control logra la mayor firmeza con $152 g_f \text{ mm}^{-1}$, mientras que la rafia y LDPE obtienen las menores firmezas, $145,3$ y $134,8 g_f \text{ mm}^{-1}$ respectivamente (**Figura 3.14**).

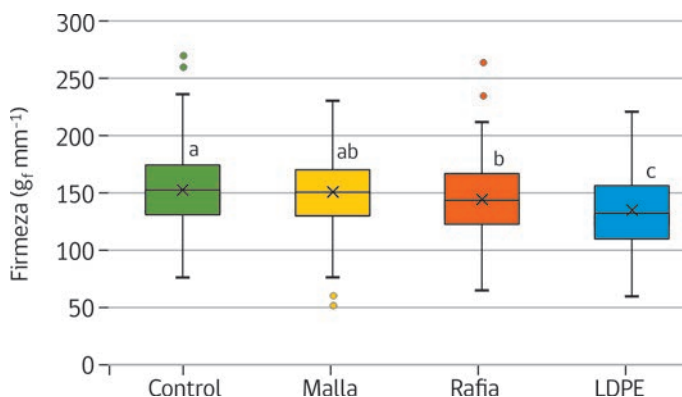


Figura 3.14. Distribución de firmeza ($g_f \text{ mm}^{-1}$) luego de 30 días de almacenamiento en 0°C de bayas de arándano variedad Top Shelf en la temporada 2020-2021. Comuna de Freire, Región de La Araucanía. Letras diferentes indican diferencias significativas por pruebas LSD Fisher.

Con respecto al porcentaje de fruta que alcanzó una firmeza superior a $140 \text{ g}_f \text{ mm}^{-1}$ en postcosecha, las tres variedades en Traiguén al aire libre alcanzaron sobre un 67% de fruta firme, mientras que bajo LDPE, ninguna de las tres variedades evaluadas sobrepasó el 60% de fruta firme. Por otro lado, la fruta blanda en las tres variedades fue superior en LDPE (**Cuadro 3.2**).

Cuadro 3.2. Firmeza de frutos luego de 30 días en almacenamiento a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, temporada 2020–2021. Fruta proveniente de tres tipos de cobertura y al aire libre en un huerto ubicado en la comuna de Traiguén, Región de La Araucanía.

Tratamiento	Variedad	Categoría de Firmeza*		
		Blando (%)	Sensible (%)	Firme (%)
Control	Brigitta	12	13	75
	Legacy	16	16	68
	Top Shelf	16	16	68
Malla	Brigitta	18	15	67
	Legacy	16	13	71
	Top Shelf	21	20	59
LDPE	Brigitta	28	17	55
	Legacy	31	16	53
	Top Shelf	31	25	45
Rafia	Brigitta	18	13	69
	Legacy	21	22	57
	Top Shelf	29	20	52

*Firmeza de fruto según equipo FirmPro: Blando $<120 \text{ g}_f \text{ mm}^{-1}$; Sensible $120\text{--}130 \text{ g}_f \text{ mm}^{-1}$; Firme $>130 \text{ g}_f \text{ mm}^{-1}$.

El ablandamiento de frutos es una característica que se determina en precosecha, y debe ser necesariamente manejado en el campo. El uso de distintas tecnologías de postcosecha, no corrige el ablandamiento obtenido, por lo que no resulta en una solución para el problema. En la **Figura 3.15**, se observa que independiente de que se use Aire Regular con bolsa perforada de 0,3% de área ventilada, Atmósfera Modificada (AM), o Atmósfera Controlada (AC), las diferencias en firmeza vistas con el uso de coberturas se conservan en todos los casos posterior a 30 días de almacenamiento a 0°C . Visto esto, se recomienda evitar al máximo la deshidratación de frutos bajo cobertura para no acrecentar el problema, el uso de embalajes con alta humedad relativa contribuyendo a evitar mayor pérdida de firmeza en estos casos.

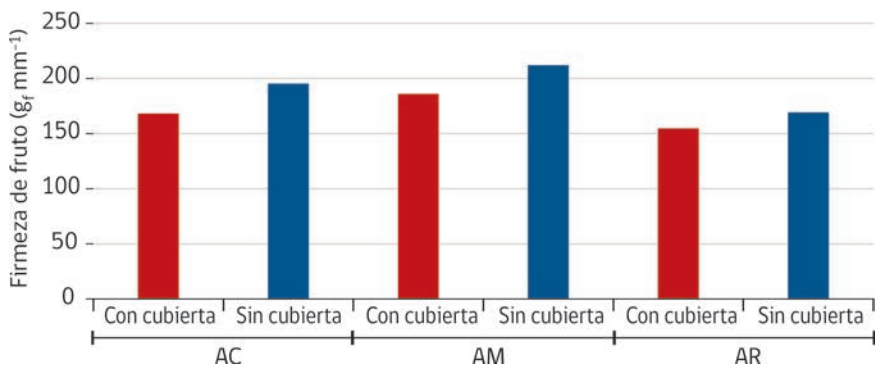


Figura 3.15. Firmeza promedio ($g_f \text{ mm}^{-1}$) de arándanos variedad Legacy bajo distintos tipos de almacenaje tras 30 días de guarda a 0°C . Se indican los $140 \text{ g}_f \text{ mm}^{-1}$ como parámetro de valor mínimo de fruta firme en arándanos cultivados bajo cubierta de rafia de polietileno de alta densidad (HDPE) y al aire libre.

3.4.3 Condición de pulpa

Como ya se mencionó en los capítulos anteriores (Capítulo 2, sección 2.1.4), la condición de la pulpa en las variedades nos da un indicio del potencial de firmeza que podría tener nuestro producto. En la variedad Legacy, evaluada en la localidad de Traiguén, luego del almacenamiento, los tratamientos con coberturas mostraron una disminución de la condición de pulpa 1 en relación a la evaluación en cosecha. Además, fue posible observar una mayor proporción de frutos con condición de pulpa 3, caracterizándose por ser frutos con baja firmeza (**Figura 3.16**).

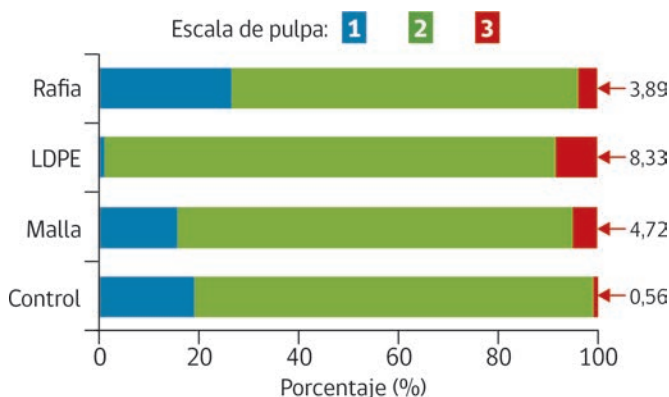


Figura 3.16. Categoría (%) de escalas de pulpa en Legacy, temporada 2020-21. Comuna de Traiguén.

3.4.4. Incidencia de daños

Cuando se trata de eventos climáticos extremos, la incidencia de partiduras, de russets y daños por granizos son evidentes y el uso de coberturas llega como una alternativa para minimizar los daños producidos. De acuerdo a los datos recopilados desde Longaví en la temporada 2017-18, tras el evento de granizos del 7 de noviembre fue posible observar el efecto protector de las cubiertas en la variedad Star, donde el tratamiento sin esta tecnología presentó un 22,5% de daños luego del almacenamiento, mientras que las coberturas presentaron sólo un 8,8% con daños por granizo luego de 30 días de almacenamiento en aire regular (**Figura 3.17**).

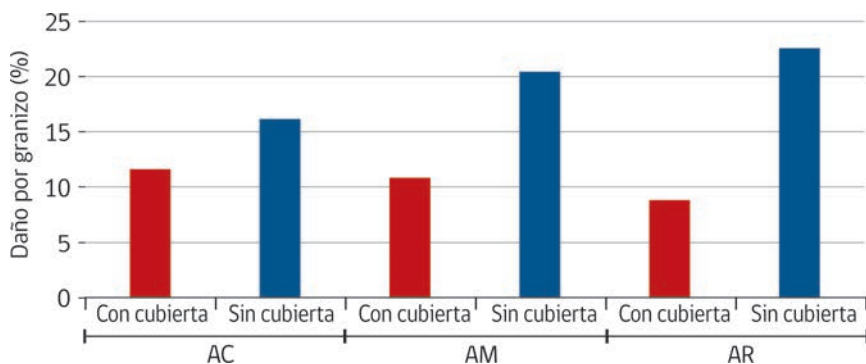


Figura 3.17. Incidencia de daños de granizo (%) en variedad Star cosechada en Longaví, 2017-2018. Barras rojas indican tratamiento sin cubiertas, y barras negras indican tratamiento control al aire libre. AC: Atmósfera Controlada; AM: Atmósfera Modificada; AR: Aire Regular o Convencional.

Entre las temporadas 2020-21 y 2021-22 se determinó el daño mecánico en fruta producida bajo coberturas y al aire libre en las localidades de Linares y Traiguén, donde los resultados son expresados como porcentaje de peso correspondiente a fruta dañada con respecto al total del peso de muestra, evaluado en cada bandeja completa al momento de cosecha. En Linares en la variedad Legacy sólo se observó daño russet y partiduras en un 0,57% en el tratamiento al aire libre, mientras que los demás tratamientos no presentaron la incidencia de estos daños. En Traiguén, en ambas temporadas evaluadas, no se presentaron diferencias entre los tratamientos en cosecha, ya que se registró una alta variabilidad entre las muestras. Los resultados obtenidos sobre el efecto protector del

uso de cubiertas están sujetos a los eventos climáticos extremos existentes en cada localidad de evaluación, por lo cual, si en las temporadas evaluadas no se presencian este tipo de eventos, difícil será encontrar diferencias entre el uso y no uso de coberturas. De lo contrario ante un evento como granizo el efecto de las cubiertas será destacable en reducir la incidencia de daño.

3.4.5 Incidencia de pudriciones

Los hongos patógenos que causan el deterioro de la fruta necesitan agua libre o una alta humedad relativa para poder infectar (Ogawa *et al.*, 1995). Así, los arbustos secos con coberturas que dan protección climática deberían tener menos infecciones fúngicas en la fruta que los arbustos frecuentemente mojados al aire libre. En nuestros ensayos uno de los resultados más observado, fue un mayor porcentaje de frutos con pudriciones en fruta cultivada bajo cubierta en salida de frío luego de 30 días a 0 °C. En Traiguén para la temporada 2020-21, el tratamiento de rafia en las variedades Legacy y Top Shelf alcanzó el mayor porcentaje de incidencia. En la primera variedad mencionada el tratamiento alcanzó un 0,72% de bayas con esta condición, mientras que en Top Shelf este porcentaje fue mucho mayor, alcanzando un 5,8% (Figura 3.18).

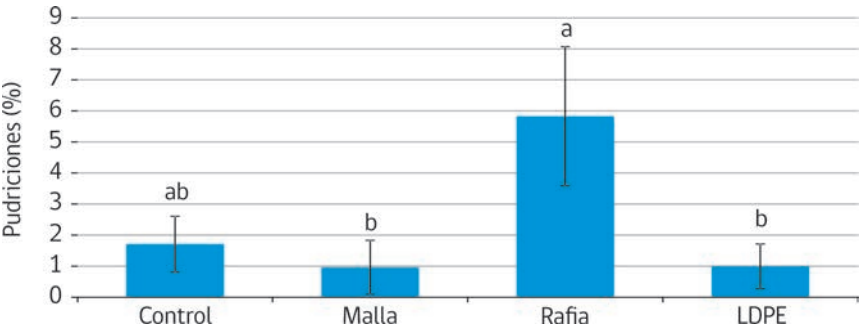


Figura 3.18. Incidencia de pudriciones (%) a salida de frío (30 días de almacenaje a 0 °C) en la variedad Top Shelf, Comuna de Traiguén. Letras diferentes indican diferencias significativas por pruebas LSD Fisher.

En Linares, los tratamientos control y malla tuvieron incidencias promedio de 6,7% y 6,4% respectivamente, mientras los tratamientos de LDPE y rafia tuvieron 4,5% y 5,4% respectivamente, diferencias que no fueron significativas.

Los resultados anteriormente mencionados de la comuna de Traiguén discrepan de los reportados por algunos autores (Børve *et al.*, 2007; Rüegg *et al.*, 2000). Es de esperar que las precipitaciones durante floración y cercano a la madurez de la baya no sean problema bajo cobertura, pero si las coberturas puestas durante las noches despejadas pueden aumentar la posibilidad de condensación y, por tanto, de infección (Børve & Stensvand, 2003). Por lo tanto, si bien las coberturas excluyen las precipitaciones, si existe la posibilidad de observar pudriciones si se dan las condiciones para presenciar condensación bajo estas.

Cabe recordar que para que exista el desarrollo de una enfermedad se necesita la presencia del inóculo, un hospedero susceptible y las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad, por lo cual los manejos agronómicos también inciden en estos resultados.

3.5. Comentarios finales

El uso de coberturas en arándanos tiene por objetivo dar protección climática ante eventos climáticos extremos cada vez más habituales por efecto del cambio climático. Estas coberturas dan protección, pero al mismo tiempo, cambian los parámetros ambientales bajo éstos, por lo cual la radiación global, temperatura, viento y humedad relativa se ven modificadas en menor o mayor proporción dependiendo del material usado.

En nuestros estudios en arándano, estos cambios modificaron mayormente la proporción de fruta disponible en las cosechas, que implicó un adelantamiento de la cosecha en la temporada. Por otra parte, se observó en las temporadas evaluadas, un aumento de fruta blanda a semi firme bajo las coberturas LDPE y rafia. Sin dudas, el uso de este tipo de tecnologías que modifican aspectos de fisiología del arbusto y fruta, requiere una revisión de los manejos agronómicos o culturales en cuanto a riego, nutrición y manejo de enfermedades, entre otros. Por lo tanto, es muy necesaria la generación de información que permita seleccionar los materiales de protección adecuados para zona geográfica, variedades y objetivo del uso de este tipo de coberturas.

3.6. Referencias

- Bastías, R., Leyton, M., 2018. Producción de cerezos bajo rafia y plástico: Efectos en el microclima, calidad y condición de la fruta [en línea]. Revista Frutícola. vol. 40, (2): 8-14. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/62728>.
- Ball, J.T., Woodrow, I.E., Berry, J.A., 1987. A Model Predicting Stomatal Conductance and its Contribution to the Control of Photosynthesis under Different Environmental Conditions. En J. Biggins (Ed.). Progress in Photosynthesis Research. Vol. IV. Martin us Nijhoff Publishers. Dordrecht, Netherlands. 221-224.
- Bustamante, M., Muñoz, A., Romero, I., Osorio, P., Mánquez, S., Arriola, R., Reyes-Díaz, M., Ribera-Fonseca, A., 2021. Impact of potassium pre-harvest applications on fruit quality and condition of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivated under plastic covers in Southern Chile orchards. Plants 10, 2778. <https://doi.org/10.3390/plants10122778>.
- Børve, J., Stensvand, A., 2003. Use of a plastic rain shield reduces fruit decay and need for fungicides in sweet cherry. Plant Dis. 87, 523-528.
- Børve, J., Meland, M., Stensvand, A., 2007. The effect of combining rain protective covering and fungicide sprays against fruit decay in sweet cherry. Crop Protection 26, 1226-1233.
- Cowan, J. S., Miles, C. A., Andrews, P. K., Inglis, D. A., 2014. Biodegradable mulch performed comparably to polyethylene in high tunnel tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production. J. Sci. Food Agric. 94, 1854-1864.
- Durán E., Ángel Y., Suárez J., 2015. Dinámica de la radiación fotosintéticamente activa en arreglos agroforestales con *Hevea brasiliensis* en el norte de la Amazonia colombiana. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica 18, 365-372
- Falcioni, R., Moriwaki, T., de Oliveira, D.M., Andreotti, G.C., de Souza, L.A., dos Santos, W.D., Bonato, C.M., Antunes, W.C., 2018. Increased gibberellins and light levels promote cell wall thickness and enhance lignin deposition in xylem fibers. Front. Plant Sci. 9, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01391>.
- Hicklenton, P., Forney, C., Domytrak, C., 2003. Use of row covers and postharvest storage techniques to alter maturity and marketing period for highbush blueberries. Acta Horticulturae 626, 287-295.

- Jones, H. G., Lakso, A. N., 1995. Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. *Horticultural Reviews* 7, 301-344.
- Lobos, G.A., Retamales, J.B., Hancock, J.F., Flores, J.A., Romero-Bravo, S., Del Pozo, A., 2013 Productivity and fruit quality of *Vaccinium corymbosum* cv. Elliott under photo-selective shading nets. *Scientia Horticulturae* 153, 143-149.
- Marfán, G., García, R., 2019. Cubiertas Plásticas, características y aspectos prácticos, pp: 4-16. In: Salazar, C., Sellés, G., Marfán G. Cubiertas plásticas en uva de mesa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Boletín INIA N°402. Santiago, Chile.
- Ogawa, J.M., Zehr, E.I., Bird, G.W., Ritchie, D.F., Uriu, K., Uyemoto, J.K., 1995. Compendium of Stone Fruit Diseases. American Phytopathological Society. St. Paul, MN.
- Petridis, A., van der Kaay, J., Chrysanthou, E., McCallum, S., Graham, J., Hancock, R.D., 2018. Photosynthetic limitation as a factor influencing yield in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*) grown in a northern european environment. *Journal of experimental botany*. 69. 10.1093/jxb/ery118.
- Salazar-Parra, C; Selles, G., Marfán, G., 2019. Cubiertas plásticas en uva de mesa. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Boletín INIA N° 402. 86.
- Singh, A., Syndor, A., Deka, B. C., Singh, R. K., Patel, R. K., 2012. The effect of microclimate inside low tunnels on off-season production of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* 144, 36- 41.
- Raschke, K., 1979. Movements of stomata. En: Haupt W, Feinleib ME (eds.) *Encyclopedia of Plant Physiology. New Series vol. 7. Physiology of Movements*. Berlin, Springer-Verlag. 383-441.
- Rüegg, J., Höhn, H., Schwizer, T., 2000. Regenschutzfolien in der biologischen und integrierten Tafelkirschenproduktion. Teil I Einfluss auf Krankheiten, Schädlinge, Mikroklima und Ertrag. *Schweiz. Z. Obst Weinbau* 136, 64-67.
- Wallberg, B., Sagredo, K., 2012. Vegetative and reproductive development of Lapins sweet cherry trees under rain protective covering. *Acta Horticulture* 1058, 411-418.

Capítulo 4

Logística de cosecha para producir materia prima con potencial de postcosecha

Edgard Álvarez R.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Pedro Contreras Ñ.

Técnico Agrícola

Sebastián Vargas C.

Técnico Agrícola

Camilo Vásquez M.

Ingeniero Agrónomo

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Para lograr una excelente calidad de los productos frescos que comercializamos, es imperativo entender la postcosecha como el resultado de la integración de las distintas etapas y condiciones de producción, considerando las variedades cultivadas, zonas y eventos climáticos, manejos de campo, y las tecnologías empleadas en el embalaje y envío. Dentro de esta cadena, la correcta labor de cosecha como manejo de campo es un momento determinante en la calidad y condición de las frutas. Un ejemplo de esto es que si bien se trata de un proceso acotado que involucra mucho menor tiempo que el crecimiento del fruto o el envío a destino, los manejos con que cosechamos un lote de fruta pueden, en algunos casos, tener en un día la misma pérdida de agua que la observada en un periodo de envío en atmósfera modificada por 30 días. Con las consecuencias que implica una pérdida de agua en el fruto en términos de calidad y condición del arándano (Capítulo 1).

La programación de cosecha está determinada por el momento en que la fruta alcanza los atributos determinados por los índices de madurez y cosecha de la especie, los que se encuentran establecidos en protocolos y normas que aúnan los criterios a obtener para que un fruto alcance una condición agradable de consumo, y que idealmente lleve al consumidor a repetir la experiencia. Estos aspectos del índice de cosecha de arándanos fueron abordados en el Capítulo 2,

por lo que nos enfocaremos en la logística de este proceso, y su efecto en la materia prima. La logística de cosecha y traslado a una planta de proceso o packing varía tanto como el número de productores, ya que estará en función del tamaño productivo, el acceso y disponibilidad a mano de obra, y la capacidad instalada en infraestructura de frío y proceso, entre otras.

De acuerdo a lo descrito por Ballou (2004), el término logística se define como la rama que procura, mantiene y transporta material, personal e instalaciones. Una definición más integrada a la actualidad proviene del Consejo de Dirección Logística o CLM (1991) que la definió como una de las partes del *Supply Chain Management*, que involucra la planificación, ejecución y control de forma efectiva y eficiente del flujo y almacenamiento de materias primas, productos o servicios. En este capítulo se abordan principalmente las variables que afectan la condición de la fruta durante el flujo de cosecha.

Dentro de los principales aspectos que debemos manejar durante la cosecha, existe una tríada de variables en las que se enfocan la mayoría de las planificaciones: i) la disponibilidad y experiencia de la mano de obra, ii) el manejo de temperatura de la fruta durante la jornada y iii) el tiempo que involucra la recolección, acopio y transporte a la planta de proceso. Estas tres variables, se encuentran enmarcadas en una cadena de puntos críticos comunes para la mayoría de los campos (**Figura 4.1**), los que deben ser identificados y monitoreados para realizar un seguimiento de estas variables en cada uno de ellos, ya que las condiciones en que se encuentran varían según la actividad a realizar.

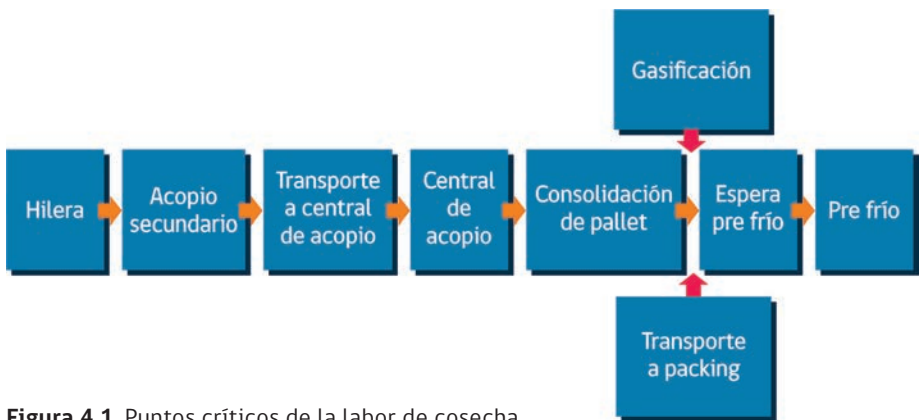


Figura 4.1. Puntos críticos de la labor de cosecha.

Otro aspecto que normalmente es menos evaluado durante la labor de cosecha es la dinámica de la humedad relativa y el déficit de presión de vapor (DPV) durante la recolección y el acopio. Si bien sabemos que los esfuerzos por evitar el aumento de temperatura del fruto apuntan también a evitar la deshidratación, es necesario desarrollar más precisión en la medida del déficit de presión de vapor, ya que el proceso de enfriamiento también tiene condiciones deshidratantes cuando no se considera el control de la humedad relativa junto a éste.

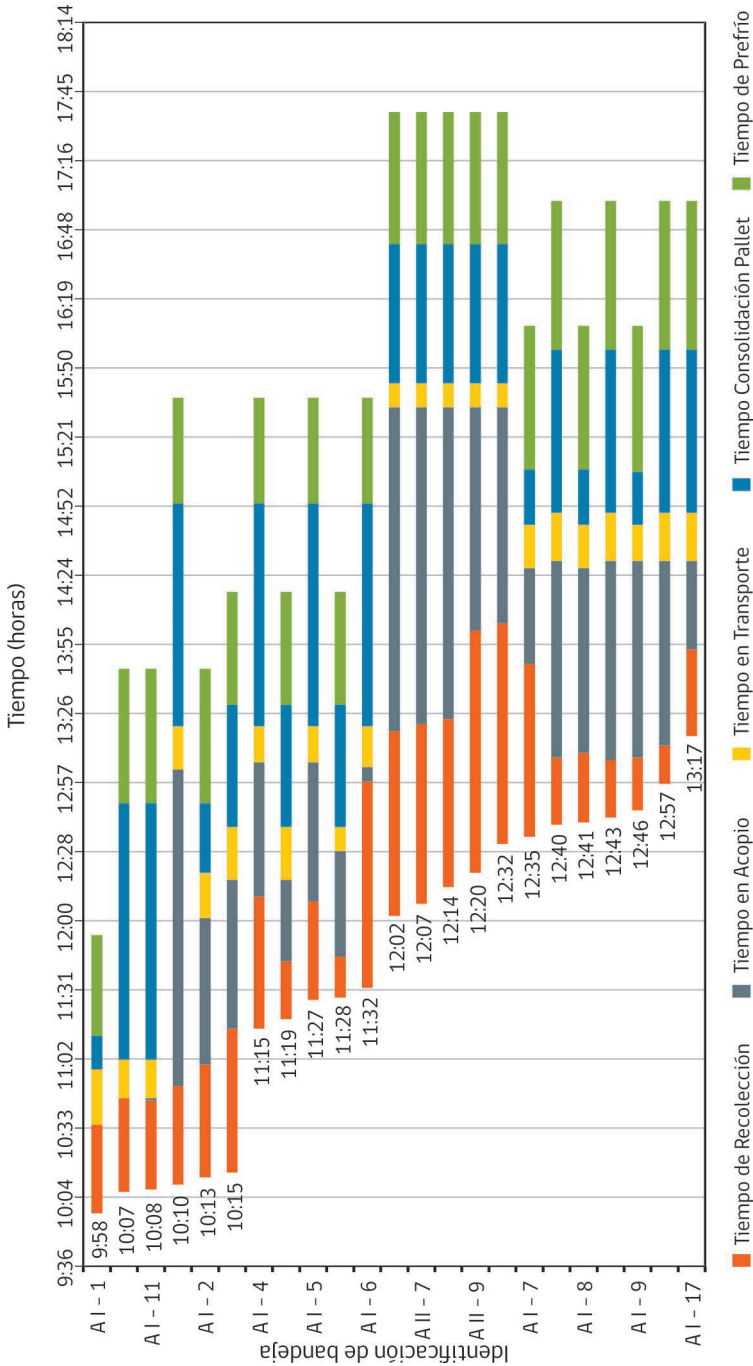
Dada la sensibilidad del arándano a los daños y deshidratación, manejar estos aspectos podría ser determinante en lograr un buen producto a destino, en especial cuando la realidad actual se vuelve más exigente en los desafíos de calidad que debemos enfrentar. A continuación, se abordarán estos aspectos en estudios realizados en la zona centro sur de Chile entre los años 2018 y 2022.

4.1 Puntos críticos de cosecha

Durante la cosecha podemos identificar 5 etapas diferenciadas que son comunes para todas las situaciones productivas, donde se incluyen desde la recolección de la fruta desde el arbusto hasta la consolidación del pallet de materia prima y posterior transporte. En algunos casos, es posible encontrar huertos o fincas que integren en el mismo campo el proceso de gasificación y/o de enfriamiento o "prefrió", aunque lo más común es que estas labores se realicen en packing.

El manejo del tiempo en la labor de cosecha debe ser abordado en cada una de estas etapas, ya que varía según la actividad que se realice (**Figura 4.2**). De esta manera, hay puntos que son regularmente constantes, como el transporte entre los acopios secundarios y el acopio central, que se encuentra determinado por el trayecto que debe recorrer el tractor; y el tiempo de gasificación y enfriamiento, que son determinados por los operadores de los equipos acorde a la decisión técnica de tiempo requerido para estas labores. Por otro lado, los puntos que involucran la cosecha, y tiempos de espera son altamente variables, ya que dependen de la experiencia y velocidad de la mano de obra; y de la capacidad de proceso y transporte del predio, respectivamente. Estos puntos fueron determinados dentro del proyecto PTEC66641, según la realidad de cuatro huertos distintos ubicados en las regiones de Maule y La Araucanía.

Figura 4.2. Tiempo de labores por etapas en distintas bandejas cosecheras. Cada línea temporal representa el seguimiento de una bandeja. A la izquierda se indica la hora a la que se inició la recolección de la bandeja.



4.1.1. Cosecha

Es el momento en el cual se extrae la fruta de la planta, y donde para la fruta fresca de exportación esta labor es obligatoriamente manual por el cuidado que requiere (Kader, 2002). Dependiendo de los materiales disponibles en el campo, esta labor puede ser comúnmente realizada con la ayuda de capachos elaborados de contenedores (tipo macetas), que son llenados hasta los 2 kg y luego trasvasijados a bandejas; recolección directamente a la bandeja, o también en algunos casos se realiza con tótem de 4 kg sin llenarlos completamente para evitar aplastamiento y daño de frutos. La labor de recolección debe necesariamente evitar cosechar cuando la fruta se encuentra húmeda, y para el caso del arándano cuidar que la manipulación no remueva la pruina afectando el *bloom*, con las consecuencias ya mencionadas en capítulos anteriores.

En el caso de que las bandejas cosecheras sean mantenidas en la hilera mientras se va recolectando, el manejo base es mantenerlas a la sombra o en los dispositivos de malla o caja que se utilizan para cubrir del sol. Sin embargo, es crucial reducir al máximo el tiempo que permanece la fruta en el campo, incluso en acopios en la cabecera de las hileras, ya que están las condiciones “ideales” de alta temperatura y baja humedad relativa para que el fruto se deshidrate e incluso gatille el proceso de ablandamiento en caso de una mayor pérdida de agua.

La cosecha es el punto más variable en tiempo (**Figura 4.2**), ya que la experiencia, la motivación, y el cansancio de la jornada de los cosecheros determinarán cuánto tardará el llenado de una bandeja y su traslado al acopio (ver Capítulo 5). En promedio, un cosechero experimentado, que cuente con la disponibilidad de fruta en campo, puede demorar entre 16 y 30 minutos en llenar una bandeja de 2,2 kg y entregarla en el acopio. Por su parte, los tiempos máximos de este proceso pueden tardar entre 1:00 y 1:40 horas en un mismo cuartel, ya sea por una recolección más lenta, o por dejar la bandeja en la hilera mientras se recolecta la siguiente. Como se mencionó, evitar que la fruta quede en la hilera es particularmente crítico cuando hay altas temperaturas, por lo que se recomienda que bajo estas condiciones la fruta sea trasladada de la hilera al acopio lo antes posible. Además, tener suficientes acopios en el cuartel disminuirá el recorrido que debe hacer el cosechero entre la planta y la entrega de la bandeja.

4.1.2. Acopio secundario

Consiste en el sector donde se acopia la fruta del cuartel, que va saliendo directamente de la entre hilera y se encuentra en espera de transporte por tractor o camión

al acopio central. Esta zona debe conservarse cubierta del sol, de modo de evitar exceso de radiación sobre la fruta y los aumentos de temperatura. Idealmente la espera en este sector debe ser un periodo corto de tiempo.

Importante es revisar y diseñar el número, ubicación y calidad de los acopios utilizados para la mantención del arándano. Por ejemplo, evitar utilizar infraestructura destinada a otros propósitos como bodegas de acumulación de materiales, mantener una limpieza adecuada del sector, verificar que efectivamente se está reduciendo la temperatura del ambiente y evitar la presencia de viento que genere una mayor deshidratación. No es extraño observar bajo ciertas condiciones acopios que más que cuidar la fruta, están generando un deterioro mayor.

El tiempo de espera en el acopio secundario dependerá de la capacidad del campo de recolectar la fruta de los cuarteles y transportarla al acopio central. En promedio, este momento puede alcanzar hasta 2 horas. En muchas ocasiones, lograr un retiro continuo de fruta desde el acopio secundario al acopio central es un gran desafío para el productor, por lo que esta espera debe ser manejada en dos formas: tratar de realizar recorridos más seguidos para el retiro de fruta, y en caso de dificultad para aumentar los recorridos, asegurar que el acopio secundario tenga suficiente sombra y evite la exposición de la fruta al calor.

4.1.3. Transporte a central

Realizado por tractor, camión, u otros vehículos. Se refiere al transporte intrapredial, en el cual la fruta es recogida del acopio secundario en la hilera y llevada al acopio central del campo, desde donde saldrá al *packing*. Este recorrido suele ser de corta duración y conocido ya que son tramos definidos dentro del huerto, por lo que pueden ser más fácilmente controlados.

4.1.4. Central de acopio

Es el punto donde toda la producción del huerto es acopiada y preparada para el traslado a *packing*, y en algunos casos para ingreso a gasificación de sulfuroso y prefrío previo al traslado. Este sector debe ser un recinto cerrado, limpio, cubierto de la radiación, que evite el alza de temperatura de la fruta y el libre acceso de insectos al interior.

4.1.5. Consolidación del pallet de materia prima

El armado del pallet de bandejas tiene como propósito facilitar el traslado de la materia prima y constituye la unidad mínima de loteo para el proceso, a la cual se

le asignará una “tarja” o identificación que especifica el origen de la fruta, fecha y variedad. Este proceso puede ser realizado en campo o en la recepción a proceso, según se disponga en el envío que realice el huerto y las disposiciones del *packing*.

4.1.6. Transporte a proceso o *packing*

El transporte a *packing* tiene que favorecer el envío desde el huerto a la central frutícola, con las precauciones de mantener una temperatura media a baja y evitar la exposición de la fruta al sol y al viento del traslado. El envío por camión refrigerado entre 10 y 15 °C aproximadamente será crítico cuando se tengan que recorrer largas distancias entre el huerto y el *packing*.

4.1.7. Gasificación

El proceso de gasificación, mencionado en los Capítulos 6 y 7, es uno de los puntos críticos más importantes logísticamente, ya que normalmente resulta en un “cuello de botella” considerable en los *peaks* de cosecha. Una de las recomendaciones logísticas más elementales para la instalación de una cámara de gasificación en el huerto, es que debe estar planificada para procesar el máximo de producción diaria en plena temporada.

Considerar que este proceso reúne todas las condiciones para deshidratar la fruta, incluyendo alta temperatura, baja humedad relativa y la exposición de la fruta a un flujo de aire interno. Se ha observado que dependiendo de estas condiciones y del tiempo de gasificación los niveles de pérdida de agua en esta etapa varía de 0,2 a 0,8%, lo cual es bastante considerando que es una etapa que dura de 15 a 30 minutos. Por lo tanto, antes de decidir gasificar la materia prima es necesario considerar, (i) evaluar la necesidad real de gasificar la materia prima, (ii) tener la capacidad necesaria de gasificación de acuerdo al volumen cosechado, (iii) revisar la instalación y diseño de la cámara de gasificación. y (iv) optimizar el protocolo de gasificación para que por un lado permita tener el efecto sanitizante que se busca con el SO₂, y por otro no genere un efecto negativo en términos de pérdida de agua desde el fruto.

4.1.8. Enfriamiento

Enfriar la fruta es el segundo paso que genera una espera importante de la cadena logística. Aunque este proceso se realiza normalmente en *packing*, existen huertos que han integrado este proceso en campo. La complejidad de realizar un enfriamiento en el huerto es que determina el inicio de la cadena de frío, así que

se debe contar con las condiciones que aseguren la mantención de la temperatura alcanzada, lo que involucra la instalación de cámaras de frío de mantención y transporte refrigerado al *packing*.

4.2. Temperatura y deshidratación durante la cosecha

La principal preocupación de cualquier cosecha de fruta fresca es la de disminuir la temperatura lo más rápidamente posible, y de la misma manera, evitar que ésta aumente en el campo. Para esto, se trata de mantener un flujo rápido y constante de fruta hasta el *packing*. Evidentemente, las condiciones climáticas presentes el día de cosecha son determinantes en el manejo de temperatura (Figura 4.3). De

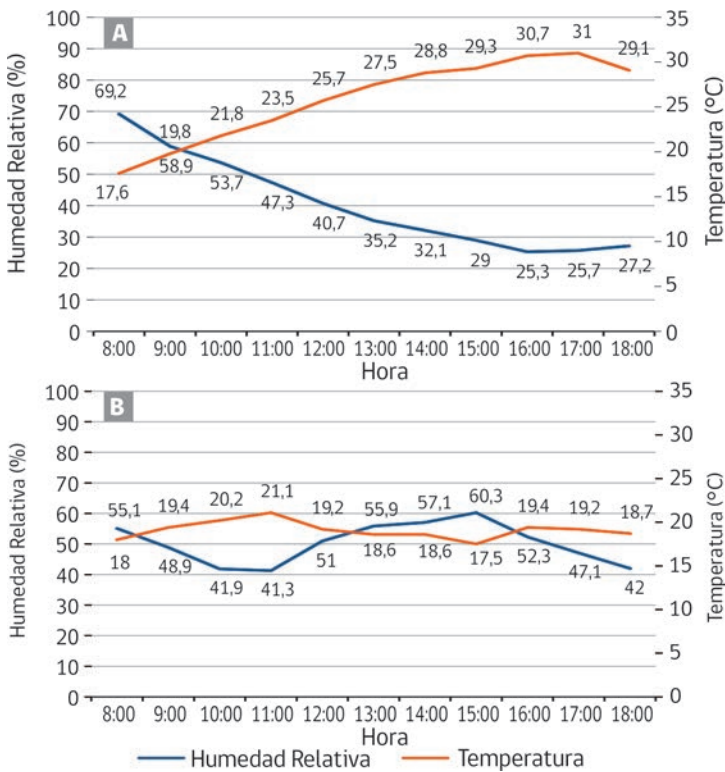


Figura 4.3. Temperatura y humedad relativa ambiental en días soleado (A) y nublado (B) a lo largo de una jornada de cosecha y envío a *packing*, en la localidad de Cauquenes, Región del Maule.

esta manera, los días cálidos serán más críticos, forzando al sistema de cosecha a su máxima eficiencia para mantener la condición de la fruta. En un día soleado de diciembre, las temperaturas en la zona centro y centro-sur de Chile pueden alcanzar y superar fácilmente los 30 °C, a la vez que la humedad relativa del ambiente puede disminuir hasta el 20%. Esto favorecerá que la fruta cosechada se deshidrate, lo cual es un gran problema para el arándano, ya que el fruto pierde agua fácilmente a través de la epidermis y herida pedicelar (Moggia *et al.*, 2017), lo cual se traducirá en una pérdida de firmeza cuando la deshidratación es superior al 2% en el fruto (Paniagua *et al.*, 2013) (Capítulo 1).

De las mediciones realizadas en la Región del Maule, en las variedades Brightwell y Legacy, se observó que, en un día soleado hasta los 31 °C, se puede perder en promedio hasta 1,8% (Figura 4.4) del peso al final de la jornada de cosecha. Es importante considerar esta pérdida, ya que la mayoría de las veces, sólo se toma en cuenta el peso perdido entre el momento de inicio y fin del periodo de almacenaje, sin contar la que ocurre entre la recolección y el embalaje. Si se compara esta pérdida en el campo con la ocurrida en un envío de arándanos por 30 días, veremos que en un almacenaje en bolsa de atmósfera modificada se pueden perder entre 0% y 0,5% del peso dependiendo de la bolsa, mientras que un envío en bolsa perforada puede alcanzar entre un 3% a 7% de pérdida de peso (Borecka & Plitzka, 1985; Rodríguez & Zoffoli, 2017), por lo cual, considerar la pérdida de campo es igualmente importante para entender los síntomas de deshidratación en destino.

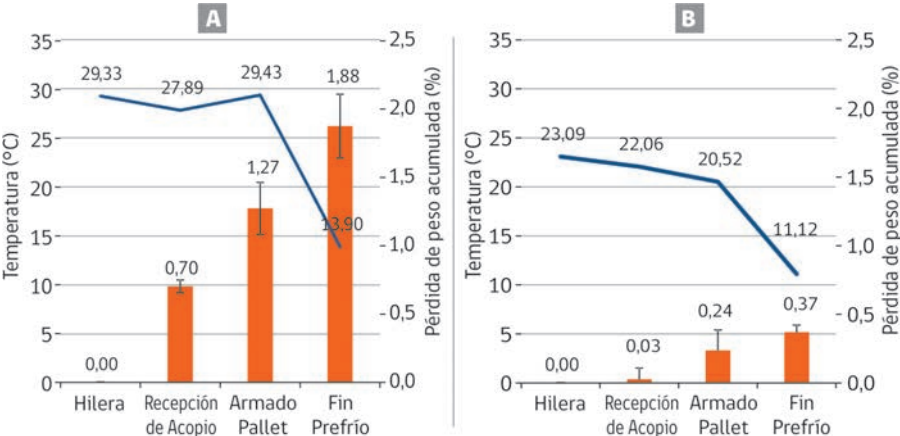


Figura 4.4. Temperatura y pérdida de peso acumulada entre la recolección (hilera) y el término del proceso de enfriamiento en A) día soleado y B) día nublado. En la comuna de Cauquenes, Región del Maule.

Por otra parte, los días nublados por su menor temperatura y mayor humedad relativa tienen menos condiciones de deshidratación de la fruta. En promedio, la pérdida de peso en estos días puede llegar al 0,4% cuando la temperatura se mantiene cercana a 20 °C y sobre 40% de humedad relativa. Si bien esta condición permite más libertad de acción en la logística, no es recomendable en ningún caso confiarse de ella para demorar los procesos.

Otro aspecto importante a tener en consideración al planificar el manejo de la deshidratación en la logística de cosecha, es que no todos los arándanos pierden agua de la misma manera, lo que implica que algunas variedades pueden ser más propensas a perder agua, mientras otras lo son menos. En este respecto, Moggia *et al.* (2016) indican que la deshidratación de los arándanos se ve influenciada por la variedad y por el estado de madurez, de modo que tras 45 días de almacenaje a 0 °C sin bolsa, los arándanos variedad Duke perdieron 16,6% del peso inicial, mientras los de la variedad Brigitta perdieron 7,8% en promedio.

4.3. Temperatura y logística de enfriamiento

Por la cantidad de fruta proveniente en todo momento del campo durante la jornada de cosecha, es normal tener pallets de materia prima que serán ingresados a enfriamiento con alta variabilidad de temperaturas entre las bandejas que lo conforman (**Figura 4.5**), es importante que al momento de tomar la medida de temperatura inicial y final se consideren estas variaciones de modo de tener en cuenta la mayor temperatura que debe bajarse. Normalmente, estas diferencias ocurren por distintos tiempos de espera, donde en ocasiones algunas bandejas alcanzan a ser entregadas justo en el momento de envío desde el acopio de campo al acopio central, mientras

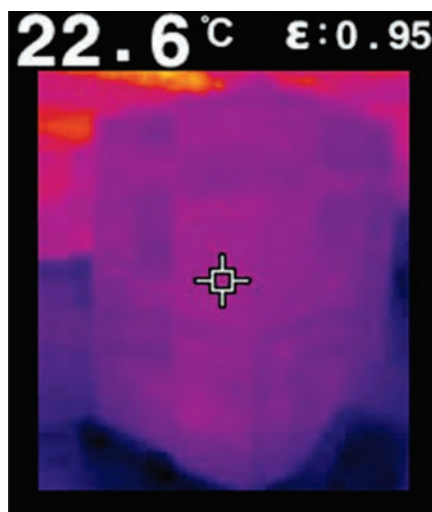


Figura 4.5 Imagen termográfica de un pallet de materia prima conformado por bandejas cosecheras de 2,2 kg a espera de enfriamiento. Se identifican zonas en donde las bandejas se encuentran más calientes (rosadas) y otras donde se encuentran más frías (azules), lo que implica variabilidad de temperaturas en un mismo lote de fruta.

otras deben esperar a la próxima recolección. Igualmente, en la hilera, algunas se entregarán al acopio del cuartel rápidamente, mientras otras pueden permanecer en la hilera. Disminuir los tiempos de estos flujos puede contribuir a la uniformidad de las temperaturas entre bandejas, en el mismo sentido, cuando hay temperaturas muy altas es recomendable que las bandejas no permanezcan en la entre hilera mucho tiempo, de modo que se priorice dejarlas en el acopio

4.4. Concepto del Déficit de Presión de Vapor (DPV) y su aplicación para mejorar la logística

En las mediciones de deshidratación y como parte de la dinámica de la humedad relativa, cada vez se ha ido rescatando más y ha ganado más importancia el concepto del déficit de presión de vapor o DPV, una de las variables de la psicrometría que ha sido usada ampliamente en la agricultura, en particular relacionada a temas como la evaporación y transpiración de las plantas (Grossiord *et al.*, 2020), o en el manejo de invernaderos (Prenger & Ling, 2000). En la actualidad, la fruticultura chilena ha rescatado esta variable para medir manejos de control de la humedad que disminuyan la deshidratación de la fruta en el huerto y en el proceso de enfriamiento del *packing*. El déficit de presión de vapor se define como la diferencia, o déficit, de la cantidad de humedad presente en el aire y de la cantidad que éste puede retener cuando se satura (Prenger & Ling, 2017). Dicho de otra manera, el aire va a necesitar una cierta cantidad de agua para saturarse, y mientras más agua le falte a este aire para llegar a su saturación, mayor será el déficit de presión de vapor.

Por otro lado, el vapor de agua ejerce presión de acuerdo con la cantidad de moléculas presentes, ya sea en el aire como vapor o en un líquido que transfiere agua al aire por evaporación (Tejeda-Martínez *et al.*, 2018). Como los sistemas siempre tienden al equilibrio, el aire que tenga un déficit de presión de vapor, y por ende baja cantidad de agua, captará moléculas de dónde haya en mayor cantidad. Para todos los casos, los productos hortofrutícolas frescos, como los arándanos, se encuentran saturados de agua, por lo que al ser expuestos a déficits de presión de vapor se deshidratan a una velocidad proporcional al nivel de déficit en que se encuentren.

Por termodinámica, la cantidad de agua que el aire puede retener es mayor a altas temperaturas y menor a bajas temperaturas, por lo que enfriar el aire y la fruta lo más rápidamente posible es crucial para disminuir la cantidad de

agua que retiene el aire y con ello disminuir el déficit de presión de vapor y la transferencia de moléculas desde el fruto al ambiente. Por parte del fruto, la alta temperatura va a promover que las moléculas de agua en contacto con el ambiente sean más fácilmente transferidas desde el estado líquido al gaseoso. Entender este concepto nos ayuda a esclarecer la importancia de la disminución rápida de la temperatura, ya que mientras más tiempo se encuentre el fruto en un aire con déficit de presión de vapor alto, más se deshidratan. Mantener ambientes con alta humedad relativa también es beneficioso para disminuir el DPV cuando aún no se ha llegado al proceso de enfriamiento, pero en los arándanos promover este tipo de ambientes podría afectar la fruta por la cantidad de agua libre, favoreciendo el desarrollo de hongos y posiblemente una pérdida del *bloom*. Otro de los manejos que se han desarrollado involucra el uso de sistemas de enfriamiento en el huerto, de modo que la fruta sea acopiada en mini cámaras o camiones refrigerados, lo cual podría solucionar de buena manera el aumento de temperatura durante la jornada, pero aún falta por describir qué niveles de humedad relativa, condensación y DPV existen en un sistema como éste.

4.5 Comentarios finales

De los conceptos revisados en este capítulo es crucial considerar que cada unidad productiva debe evaluar los procedimientos actuales que realiza de manera de optimizar los recursos, y al mismo tiempo obtener una materia adecuada a proceso. Esta optimización parte por la cuantificación de distintos factores críticos para una adecuada logística, incluyendo (i) la medición de temperatura y humedad relativa a la cual se realizan los procesos desde cosecha, (ii) conocer los puntos críticos que generan retrasos y mayor pérdida de agua desde el fruto y (iii) cuantificar los tiempos reales de cada etapa. Una información necesaria para optimizar es conocer los rangos de las variables o factores medidos, y no solamente las medias o promedios. La cosecha y logística, al igual que otras etapas productivas, es un proceso dinámico afectado por distintas contingencias, y para poder responder como productor frente a estos cambios es necesario manejar la información adecuada.

4.6 Referencias

- Ballou, R.H., 2004. Logística, administración de la cadena de suministro. V Edición, Editorial Pearson Educación, México.
- Borecka, H.W., Pliszka, K., 1985. Quality of blueberry fruit *Vaccinium corymbosum* L. stored under LPS, CA, and normal air storage. *Acta Hort.* 165, 241-250
- Council of Logistics Management., 1991. Normas del Consejo de Dirección Logística, www.clm1.org
- Grossiord, C., Buckley, T., Cernusak, L., Novik, K., Poulter, B., Siegwolf, R., Sperry, J., McDowell, N., 2020. Plant responses to rising vapor pressure deficit. *New Phytologist* 226, 1550-1566.
- Kader, A.A., 2002., *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California Agriculture and Natural Resources, California.
- Moggia, C., Beaudry, R.M., Retamales, J.B., 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 selection criterion in breeding. *Postharvest Biology and Technology* 132, 88-96
- Moggia, C., Graell, J., Lara, I., Schmeda-Hirschmann, G., Thomas-Valdés, S., Lobos, G.A., 2016., Características de la fruta y triterpenos de la cutícula en relación con la calidad poscosecha de arándanos highbush. *Scientia Horticulturae* 211, 449-457
- Paniagua, A.C., East, A.R., Hindmarsh, J.P., Heyes, J.A., 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biology and Technology* 79, 13-19
- Prender, J., Ling, P., 2017. Greenhouse condensation control: Understanding and using Vapor Pressure Deficit (VPD). Ohio State University Extension Fact Sheet AEX-804.

Prenger, J.J., Ling, P.P., 2000. Greenhouse Condensation Control. Fact Sheet (Series) AEX-800. Ohio State University Extension, Columbus, OH.

Rodríguez, J., Zoffoli, J.P., 2016. Effect of sulfur dioxide and modified atmosphere packaging on blueberry postharvest quality. *Postharvest Biology and Technology* 117, 230-238

Tejeda, A., Méndez, I., Rodríguez, N., Tejeda, E., 2018. *La humedad en la atmósfera, bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Editorial Universidad de Colima, México.

Capítulo 5

Productividad de mano de obra a cosecha

Abel González G.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Iverly Romero M.

Ingeniera Agrónoma, M.Sc.

Gabriel Neumann L.

Ingeniero Agrónomo

La etapa de cosecha es uno de los momentos críticos que determina en gran medida el potencial de postcosecha de los arándanos (Capítulo 2) y cuya gestión tiene un impacto significativo en los costos de operación de una temporada. Para llevarla a cabo en el momento indicado, es preciso identificar diariamente el punto de equilibrio entre la oferta de fruta y la demanda de los cosecheros. Lograr dicho equilibrio, requiere tomar una serie de decisiones que afectarán dicho potencial, y que en gran medida están relacionada con disponer de la cantidad y efectividad de personal y conocer en profundidad el potencial productivo del huerto. Para que la toma de decisiones sea exitosa, el productor deberá integrar información del sistema productivo (variedad, rendimiento, calidad de la fruta), y la gestión del personal de cosecha (reclutamiento, productividad, fidelización y rotación).

En este capítulo se revisan algunos de los tópicos a considerar para potenciar la productividad individual de los cosecheros, para hacer exitosa la operación de cosecha en huertos de arándanos, con destino al mercado de fruta fresca.

5.1. Disponibilidad de fruta en cosecha como predictor de productividad de mano de obra

La producción de arándanos con destino a mercados en fresco se sustenta y es dependiente de la cosecha de la fruta realizada en forma manual. Este proceso requiere de la habilidad y destreza de las personas para ser llevado

a cabo con éxito, y donde el principal objetivo de esta operación es ocasionar el mínimo daño a la fruta al momento de ser separada de la planta. Se espera obtener un producto de calidad, que permita preservar al máximo las características organolépticas de un fruto recién cosechado, pero dado el tamaño y delicadeza del fruto de arándano, esta actividad frutícola es sin duda una de las más demandante en mano de obra. Estimaciones realizadas (ODEPA, 2012) señalan que los requerimientos de mano de obra en arándanos, para la operación del huerto, superan las 600 jornadas-persona (JP) anuales por hectárea, seguidos sólo por uva de mesa y cerezos con 540 y 464 jornadas-persona anual, respectivamente. Esto se diferencia fuertemente de las plantaciones de frutales perennes, como naranjo y palto, los cuales requieren 104 y 118 jornadas-persona por año, respectivamente. Lo anterior implica que la producción de arándanos puede ser hasta 6 veces más demandante en mano de obra que otros frutales, siendo la media 2 a 3 veces (González & Subercaseaux, 2013).

De tal impacto es este requerimiento, que los predios requieren reclutar trabajadores temporales que realicen esta actividad crucial en periodos acotados de tiempo. Estos altos requerimientos de trabajadores en cosecha impactan significativamente los costos de operación del proceso productivo. Así, el costo unitario de cosecha de arándanos, puede representar entre un 60% hasta un 90% de los costos de operación de una temporada de producción. Por tanto, el desafío que debe sortear el productor, tiene relación con el desarrollo de estrategias, que permitan al mismo tiempo, disminuir los costos fijos asociados al proceso y aumentar el salario de los trabajadores temporales, lo anterior sobre la base de incrementos en su productividad individual.

En dicho escenario, el desafío no es sólo contar con el mayor número posible de trabajadores, sino más bien desarrollar estrategias para atraer el número correcto de ellos y que a su vez sean altamente productivos. Una vez reclutado el recurso humano, es clave realizar gestión de incentivos para asegurar la permanencia de los cosecheros a lo largo de toda la campaña de cosecha.

Lo anterior, necesariamente tiene que ver con las condiciones laborales que ofrece la empresa y aquellos aspectos que la hacen más atractiva que otra para un trabajador temporal. Así, el cambio de paradigma indica que un trabajador decide no sólo dónde le conviene monetariamente trabajar, sino que además, considera en qué lugar se siente a gusto, valorado y en efecto comprometido con su trabajo. Podemos decir que una empresa será capaz de captar un cosechero

de alta productividad, sólo cuando su oferta incluya, como un desde, un buen clima laboral y condiciones productivas, en donde el trabajador verá la opción de aumentar sus ingresos, en base a un trato por rendimiento atractivo.

En esta dirección, la disponibilidad de fruta a lo largo de la cosecha es sin lugar a dudas uno de los factores que hacen que un huerto, sea más o menos atractivo para un trabajador temporal para ir a emplearse y obtener un buen trato de cosecha. Así, la productividad individual de un cosechero está muy relacionada a la disponibilidad de fruta.

Uno de los factores predictivos más importantes de la productividad de mano de obra, es la disponibilidad de la fruta por cosecha en los arbustos, lo que no necesariamente tiene relación con el rendimiento acumulado. Estudios realizados en INIA Carillanca, han determinado que la productividad individual de los trabajadores es dependiente de la disponibilidad de fruta que existe en el huerto, cuando mayor es disponibilidad de fruta más se incrementa la productividad de los cosecheros. Por su parte, para un cosechero de alta productividad, le es más atractivo en todo momento disponer de alta carga, ya que eleva la productividad individual y sus ingresos.

En la **Figura 5.1**, se muestra la relación directa entre disponibilidad de fruta por semana y el incremento de la productividad individual de los trabajadores.

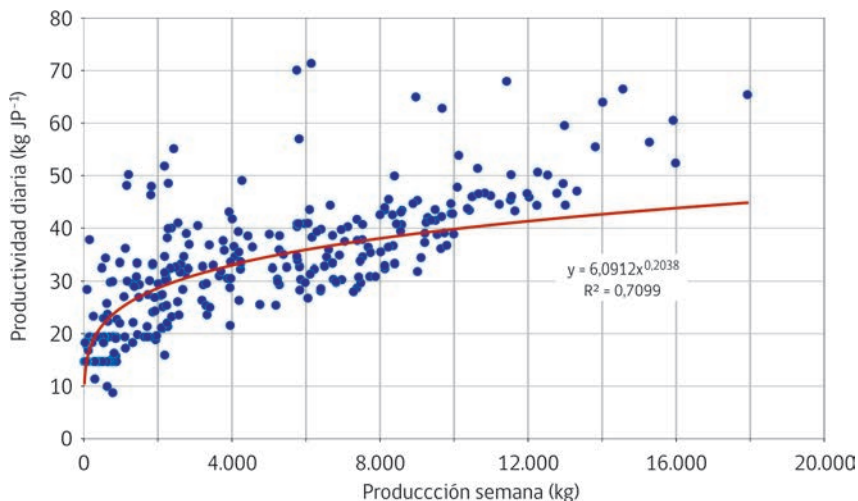


Figura 5.1. Relación entre producción semana (kg) y la productividad de los trabajadores (kg JP⁻¹).

En el **Cuadro 5.1**, se muestra la situación actual y proyectada, de las necesidades de jornadas totales de mano de obra requeridas en un huerto y determinadas sobre la base de superficie, producción y productividad de la mano de obra de los cosecheros.

Cuadro 5.1. Requerimientos de mano de obra en función de la superficie, producción y variedad bajo el escenario actual y proyectado en función de la productividad de los cosecheros (kg JP⁻¹).

Variedad	Temporada Actual					Próxima Temporada				
	Sup. (ha)	Produc. (kg)	Rend. (kg ha ⁻¹)	Prod. mano obra (kg JP ⁻¹)	Total JP	Sup. (ha)	Produc. (kg)	Rend. (kg ha ⁻¹)	Prod. mano obra (kg JP ⁻¹)	Total JP
Blue Ribbon	3,5	28.000	8.000	38	737	3,5	43.750	12.500	65	673
Top Shelf	2,5	16.250	6.500	35	464	2,5	30.000	12.000	55	545
Brigitta	12,94	161.750	12.500	35	4.621	12,94	161.750	12.500	39,2	4.126
Draper	0,95	11.875	12.500	45	264	3	37.500	12.500	50,4	744
Duke	11,76	115.248	9.800	37	3.115	6	57.000	9.500	41,44	1.375
Legacy	10,32	123.840	12.000	32	3.870	8	96.000	12.000	32	3.000
Liberty	5,23	75.835	14.500	32	2.370	5,23	75.835	14.500	35,84	2.116
TOTAL	47,2	532.798	10.829	36,3	15.441	41,17	501.835	12.214	45,6	12.580

OBS: JP = Jornada-Persona.

En el **Cuadro 5.1** se observa que durante la próxima temporada se proyecta incentivar el uso de variedades más productivas y de mayor productividad de mano de obra, esperando un aumento del rendimiento individual de los trabajadores (kg JP⁻¹) producto del incremento de la disponibilidad de fruta y, en efecto, se espera que ocurra una disminución en el número total de jornadas (2.861 JP) proyectadas en el huerto.

Por lo tanto, para determinar los requerimientos diarios de cosecheros, es preciso entonces determinar la curva de distribución agregada de producción del huerto (kg día⁻¹), en función del portafolio de variedades del huerto y la productividad individual (kg JP⁻¹) de los trabajadores asociada a cada una de ellas. Con esta información, es posible estimar los requerimientos diarios de trabajadores, en función de la producción esperada y productividad individual estimada de los cosecheros. Siendo este último el principal indicador de logro (Kpi) que todo huerto debe considerar y aspirar a mejorar en cada temporada.

La **Figura 5.2** muestra los resultados de la demanda agregada de trabajadores de la temporada, comparada con la demanda agregada estimada, como producto del incremento de la productividad de la mano de obra (36,3 a 45,6 kg JP⁻¹).

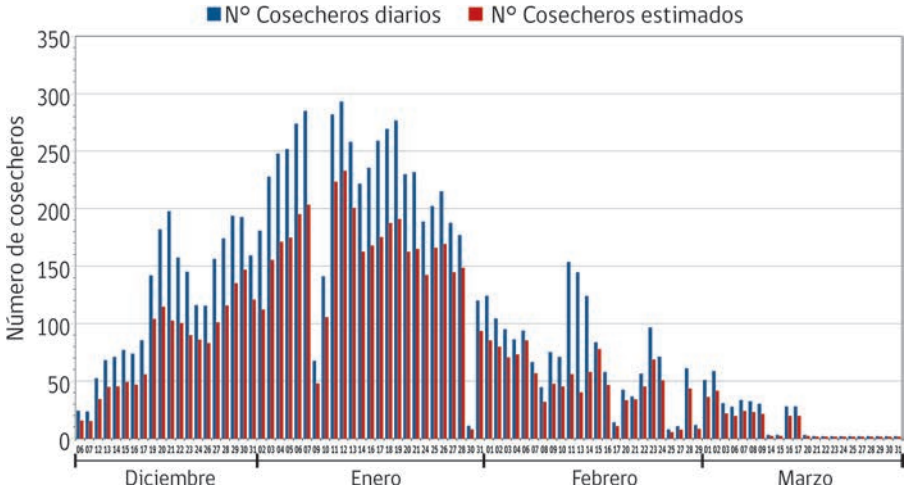


Figura 5.2. Curva de demanda agregada del número diario de personal requerido, y proyectado para la próxima temporada.

Se observa que la demanda agregada de trabajadores disminuye en la medida que la oferta de fruta aumenta y los trabajadores son más productivos. Así, en el momento de mayor disponibilidad de fruta (peak de cosecha) las necesidades netas de cosecheros pueden disminuir en hasta 60 personas respecto a la temporada anterior.

De esta manera, en el momento cumbre de cosecha de un huerto no necesariamente es el momento de máxima necesidad de trabajadores. En dicho período se requiere a los cosecheros más productivos y motivados por la obtención de altos ingresos. De ahí, la importancia de determinar el número correcto de trabajadores temporales requeridos durante una operación de cosecha en un huerto de arándanos.

5.2. Disponibilidad de fruta de las variedades y productividad de la mano de obra

Entre los factores claves que determinan la productividad de los huertos de arándanos está la variedad. En este sentido la productividad de la mano de obra

estará definida por dos factores, (1) el potencial productivo de cada variedad en un área edafoclimática, donde a mayor producción de la variedad mayor será la productividad de la mano de obra; y (2) por el hábito de floración de la variedad.

Una característica especial en la floración del arándano, es que las flores de un mismo racimo y a su vez aquellos racimos ubicados en un mismo brote, y en una misma planta, abren en distintos periodos de tiempo, en forma escalonada. En consecuencia, para determinar el periodo de plena flor, este se construye con una suma acumulada del porcentaje de flores abiertas en el tiempo. Así, cuando el cuartel acumula un 50% de las flores abiertas, se dice que su estado fenológico es de plena flor. Lo anterior es una característica común de los berries, cuyas cosechas son escalonadas, por lo que el porcentaje de flores que exponen sus corolas, durante una semana, alcanza valores que raramente superan el 30% de exposición, que en efecto determinarán posteriormente el número de cosechas de cada una de ellas.

En la temporada 2017-2018 en la comuna de Collipulli, se determinaron los estados fenológicos de la variedad Legacy. En este cuartel, el estado de flor abierta se observó desde la semana 37 (septiembre) hasta la semana 43 (octubre), lo que significó que durante 7 semanas fue posible observar este estado fenológico, en consecuencia, el número de cosechas es posible que se extienda por alrededor de siete eventos (**Figura 5.3**).

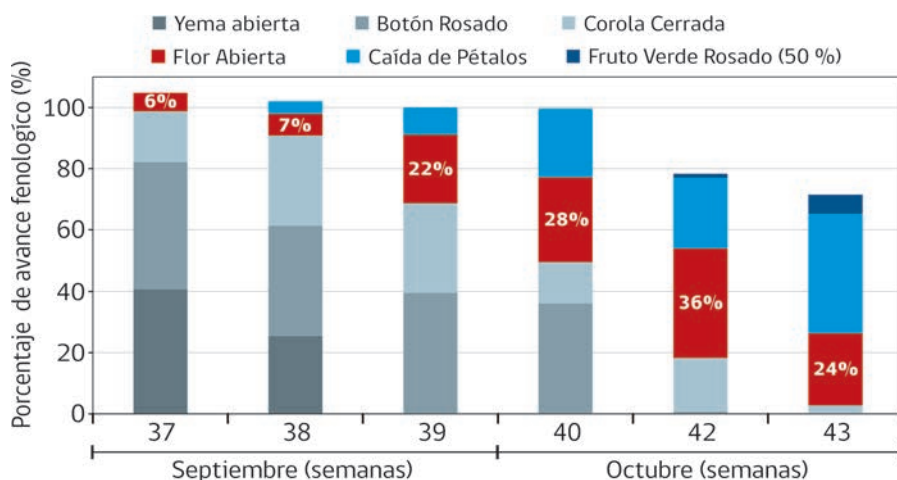


Figura 5.3. Presencia del estado flor abierta en huerto de arándano para la variedad Legacy, comuna de Collipulli, Región de La Araucanía.

Que este estado se presente por varias semanas tiene repercusiones en el manejo agronómico, (i) el control preventivo de fungicida deberá cubrir más semanas, y sus efectos en la calidad y pudriciones (ver Capítulo 7) (ii) además, dependiendo de la zona climática la flor quedará expuesta por mayor tiempo a eventos climáticos extremos, como heladas, lluvias concentradas, y viento, y (iii) si la floración se prolonga excesivamente la brotación se retrasa. No obstante lo anterior, una de las mayores repercusiones de un período prolongado de floración es que ésta determina una cosecha extendida, que en condiciones actuales de disponibilidad de mano de obra, podrían afectar la disponibilidad de fruta para el cosechero.

De esta forma existen variedades con hábitos de floración concentrados y variedades de hábitos de floración más abiertos o espaciados en el tiempo. Dicha extensión en el periodo de floración, definirá la oferta de fruta en cada momento de cosecha, siendo dicho factor determinante sobre la productividad de los trabajadores.

En el **Cuadro 5.2** se muestran los resultados de un estudio realizado en distintos momentos de la cosecha de un huerto de la zona sur, en el cual se registró la velocidad de cosecha, para distintas variedades, formatos de cosecha y disponibilidad de fruta (González & Subercaseaux, 2013).

Cuadro 5.2. Productividad de mano de obra para distintas variedades, disponibilidad de fruta y formatos de cosecha.

Tipo Cosecha	Disponibilidad de fruta	Variedad	Productividad (kg h ⁻¹)	Productividad (kg JP ⁻¹)
Bandeja-Totem	Alta	Legacy	16,9	135,4
Directo Clamshell	Alta	Legacy	14,7	117,8
Directo Clamshell 2	Alta	Legacy	11,5	92,6
Directo Clamshell	Media	Brigitta	10,2	82,2
Bandeja-Totem	Baja	Brigitta	9,8	79,1
Bandeja-Totem	Alta	Brigitta	9,7	78,1
Bandeja-Totem	Media	Brigitta	8,9	71,5
Directo Clamshell 2	Media	Brigitta	8,8	70,8
Directo Clamshell	Baja	Duke	8,3	66,7
Bandeja-Totem	Baja	Liberty	7,4	59,3
Bandeja-Totem	Media	Legacy	7,2	58,0
Directo Clamshell 2	Baja	Duke	6,7	53,6
Bandeja-Totem	Alta	Elliot	6,1	49,5
Bandeja-Totem	Baja	Legacy	6,0	48,5
Bandeja-Totem	Baja	Duke	6,0	48,2

Los resultados muestran la influencia de las variedades, y su comportamiento, en términos de disponibilidad de fruta sobre la velocidad de cosecha. Por otro lado, no se observan diferencias consistentes respecto al tipo de formato de cosecha. Así, al observar el comportamiento de la variedad Legacy, la cual es una variedad de alta productividad acumulada, la productividad de la mano de obra se ubica en lo más bajo del ranking cuando la disponibilidad de fruta es baja o media. Como se ha mencionado, Legacy es una variedad que se caracteriza por ser un hábito de floración extendido, de alta productividad, y con hasta 6 o más cosechas por temporada. Además, esta variedad se caracteriza por mantener una alta disponibilidad de fruta durante las 2 o 3 primeras cosechas, para luego ir decayendo significativamente su disponibilidad de fruta en las últimas.

La duración de la floración depende de las distintas variedades y tendrán consecuencias sobre el periodo de cosecha. Legacy, presenta una floración temprana y larga, como consecuencia su cosecha de igual manera se extenderá por varias semanas. Duke tiene una floración tardía, pero más concentrada que Legacy. En las variedades de recambio, Blue Ribbon tiene una cosecha extendida, mientras que Top Shelf tiene una cosecha más concentrada. Por lo tanto, dependiendo del periodo de floración y la asincronía que se genera de la madurez de la baya dentro del racimo, las cosechas serán concentradas o extendidas por más tiempo. Eso significa que en determinadas variedades podemos observar cuatro cosechas en la temporada, mientras que en el otro extremo podemos alcanzar hasta siete cosechas en una misma temporada, diferente a lo que sucede en las cosechas de otros frutales.

A continuación en la **Figura 5.4**, se muestra la curva de distribución diaria de producción de las principales variedades cultivadas en la zona sur de Chile.

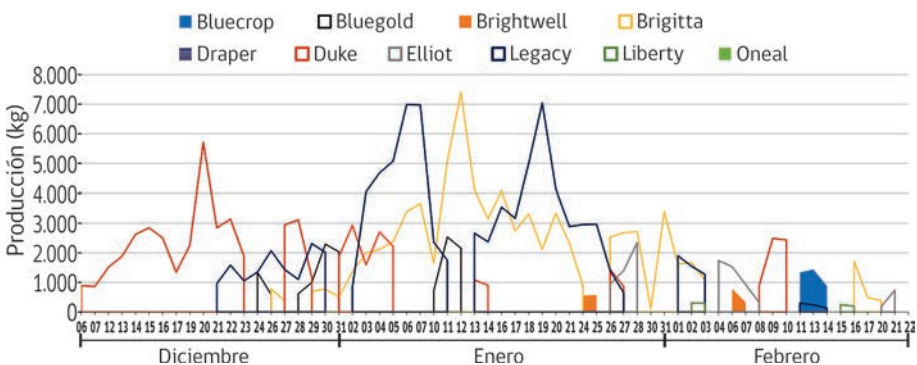


Figura 5.4. Curva de distribución de la producción de variedades de arándanos en el sur de Chile. Comuna de Collipulli, Región de La Araucanía.

Por otra parte, estas características de los berries de presentar cosechas escalonadas, la cual se extiende por varias semanas, tiene como consecuencia una alta heterogeneidad de los frutos, la cual se intensifica en la medida que avanza cada cosecha y con repercusión directa en parámetros de la calidad de fruta. Resultados obtenidos de cosechas de diferentes huertos mostraron una disminución de calibre de la fruta luego de las tres primeras cosechas (**Figura 5.5**).

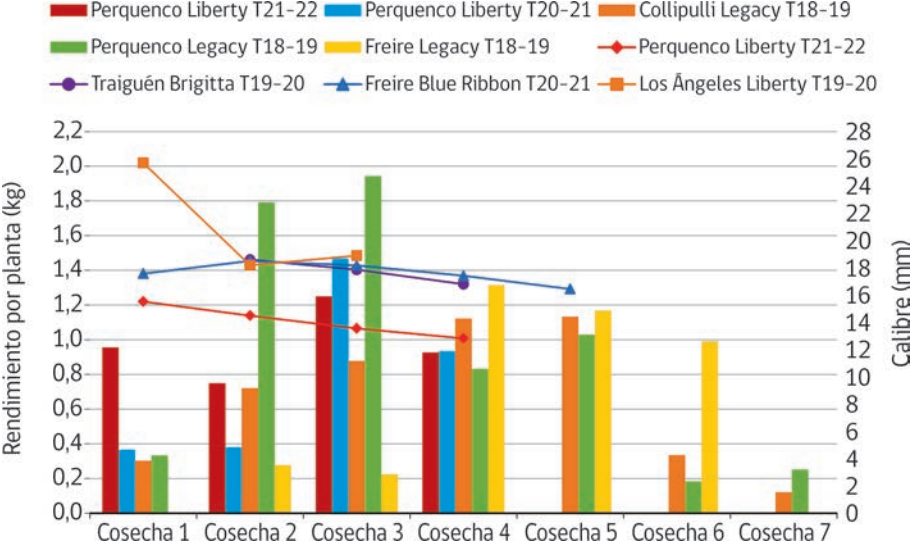


Figura 5.5 Rendimiento (barras) y calibre (líneas) asociado al número de cosecha en distintas variedades producidas en la Región de La Araucanía. Fuente: Laboratorio de Postcosecha de INIA Carillanca. T=Temporada.

5.3. Frecuencia de cosecha, disponibilidad de fruta y productividad de la mano de obra

Queda en evidencia que la oferta de fruta en cada cosecha es un factor decisivo para alcanzar una alta productividad individual de los trabajadores, y en este sentido surge la interrogante de parte de la industria, de hasta qué punto es posible prolongar la madurez de los frutos sin afectar la calidad de la fruta, mediante la estrategia de extender las frecuencias de cosecha y con ello aumentar la disponibilidad de fruta, en cada oportunidad de cosecha. Para dar respuesta a esta interrogante se realizaron dos ensayos de campo cuyo objetivo fue evaluar la relación entre la disponibilidad de fruta, la productividad de mano de obra y

la firmeza de la fruta a cosecha, por unidad productiva en distintas condiciones. Este trabajo experimental se llevó a cabo en el huerto El Roble ubicado en la comuna de Freire, Región de La Araucanía. Este huerto tiene un sistema de manejo de manejo orgánico, del cual se seleccionaron las variedades Top Shelf (año de plantación 2015), Legacy (2008) y Cargo (2018). Se realizaron tres cosechas con dos frecuencias (7 y 15 días), y en cada cosecha se cuantificó el tiempo de cosecha de cada unidad experimental. En la **Figura 5.6** se da cuenta de los resultados de la Cosecha 3.

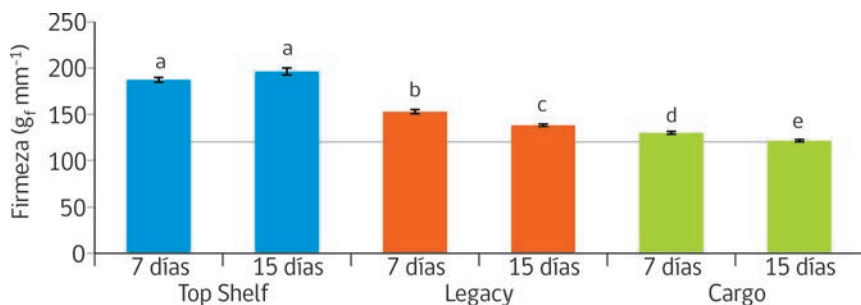


Figura 5.6. Evaluación de firmeza de frutos de tres variedades cosechadas con dos frecuencias de cosecha, 7 y 15 días. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (LSD Fisher $p \leq 0,05$) entre tratamientos y variedades (*).

Como se observa, para la variedad Top Shelf en ambas frecuencias (7 y 15 días) alcanzó la mayor firmeza en comparación a las otras variedades. Para Legacy y Cargo, en tanto, los tratamientos cosechados cada 15 días lograron menores rangos de firmeza que la fruta de los tratamientos cosechados cada 7 días (138,2 y 121,5 g_f mm⁻¹), respectivamente.

Al evaluar el efecto de las frecuencias de cosechas y las variedades sobre la productividad de la mano de obra, fue posible observar diferencias estadísticas significativas. Así, en Top Shelf, la mayor productividad se obtiene en plantas que fueron cosechadas cada 7 días, mientras que en Legacy y Cargo muestran una mayor productividad cuando los tratamientos son cosechados cada 15 días. La mayor productividad observada fue en Cargo, alcanzando 45,2 kg de fruta cosechada por jornada-persona (**Figura 5.7**).

Es interesante observar que la variedad Top Shelf, cosechada con una frecuencia de 15 días, presenta una menor productividad de la mano de obra, aunque no se ve afectada la firmeza. Lo anterior tiene que ver con la precocidad de la cosecha y la concentración de la floración de esta variedad. Top Shelf es una variedad

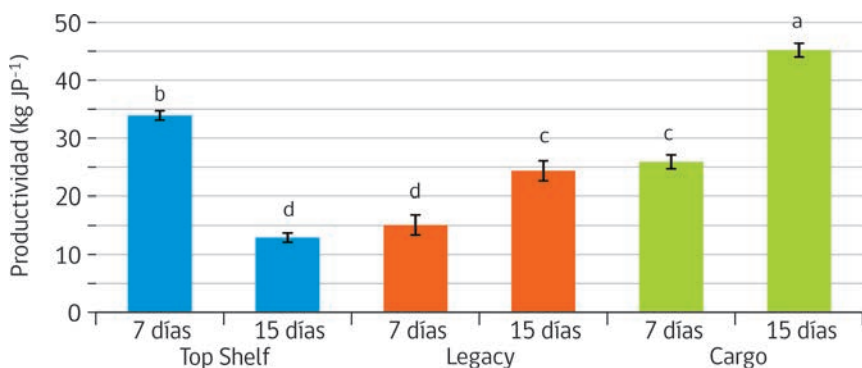


Figura 5.7. Productividad de mano de obra de tres variedades cosechadas bajo distintas frecuencias. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (LSD Fisher $p \leq 0,05$) entre tratamientos y variedades (*). Las barras de error indican error estándar.

más temprana que Legacy y Cargo, y a su vez presenta una floración más concentrada, lo que implica que la cosecha tres, presenta una menor disponibilidad de fruta, incluso cuando han transcurrido dos semanas para realizar la cosecha. No obstante lo anterior, no se vio afectada la firmeza.

En cuanto a los sólidos solubles totales, sólo Legacy mostró diferencia significativa entre las distintas frecuencias. Los frutos que tuvieron una frecuencia más larga, más días entre cosechas, alcanzaron mayor concentración de sólidos solubles totales, lo que da cuenta del avance en la madurez de éstos. En cuanto a acidez titulable, esta disminuye significativamente ($p < 0,05$) a medida que avanza la madurez de Legacy y Cargo. No hay diferencias entre los contenidos de acidez titulable de Top Shelf (**Cuadro 5.3**).

Cuadro 5.3. Sólidos solubles totales y acidez titulable en distintas frecuencias de cosecha, 7 y 15 días, para las variedades Top Shelf, Legacy y Cargo.

Variiedad	Frecuencia (días)	Sólidos Solubles Totales (%)	Acidez Titulable (%)
Top Shelf	7	14,1 ± 0,24 ^a	0,51 ± 0,08 ^a
	15	14,2 ± 0,67 ^a	0,73 ± 0,08 ^a
Legacy	7	14,1 ± 0,26 ^b	0,81 ± 0,04 ^a
	15	16,2 ± 0,50 ^a	0,41 ± 0,04 ^b
Cargo	7	13,5 ± 0,20 ^a	0,66 ± 0,05 ^a
	15	14,4 ± 0,35 ^a	0,3 ± 0,05 ^b

*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (LSD Fisher $p \leq 0,05$) entre tratamientos.

En este sentido, la genética de las variedades en cuanto a su firmeza a cosecha parece ser una variable determinante al momento de decidir la frecuencia óptima de cosecha. Alcanzar la frecuencia óptima de cosecha, implica determinar hasta qué momento es posible ampliar la frecuencia de cosecha para subir la oferta de fruta por cosecha, pero sin alterar significativamente la calidad.

Al comparar umbrales de firmeza provenientes de distintas temporadas, localidades y momentos de cosecha, se ha determinado que en forma consistente existen variedades más firmes y variedades de menor firmeza. En particular, la variedad Blue Ribbon es una variedad que ha demostrado mayor consistencia en cuanto a firmeza de la fruta. En la **Figura 5.8** se presenta la frecuencia acumulada de frutos, cuyo parámetro da cuenta de una muestra de fruta en el cual se presenta la firmeza de cada uno de los frutos de la muestra, desde el menos firme al más firme, este último ubicado en la parte alta de la curva.

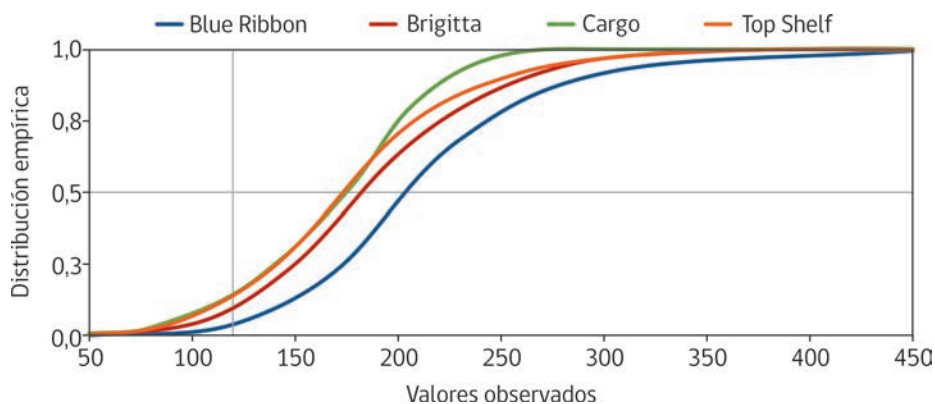


Figura 5.8. Frecuencia acumulada de firmeza de variedades de arándanos en el sur de Chile.

Se realizó un estudio específico para la variedad Blue Ribbon, el cual tuvo como objetivos (i) determinar frecuencias óptimas de cosecha para asegurar calidad y rentabilidad para las variedades de recambio, (ii) cuantificar el rendimiento en mano de obra (Jornada-Persona, JP), por unidad productiva bajo distintas frecuencia y momentos de cosechas, y finalmente (iii) caracterizar la calidad de fruta de acuerdo al rendimiento de mano de obra (JP), por unidad productiva en variedades de recambio.

Se realizaron tres cosechas, con diferente frecuencia de días (5, 7 y 10 días). Estas determinaciones fueron repetitivas en el tiempo en una misma planta, como se resumen en el **Cuadro 5.4**.

Cuadro 5.4. Momentos de cosecha de frutos de la variedad Blue Ribbon a diferentes frecuencias.

Momento de cosecha	Frecuencia		
	1 (5 días)	2 (7 días)	3 (10 días)
Cosecha 1	1	1	1
Cosecha 2	5	8	10
Cosecha 3	10	15	20

Cuadro 5.5. Atributos de calidad de frutos evaluados al momento de cosecha.

Atributo	
Firmeza ($g_f \text{ mm}^{-1}$)	$173,2 \pm 1,37$
Calibre (mm)	$17,9 \pm 0,07$
Sólidos solubles totales (%)	$11,8 \pm 0,12$
Acidez titulable (%)	$0,42 \pm 0,34$

Los resultados indican que el inicio de la cosecha para todos los tratamientos, se caracterizó por presentar frutos muy firmes (sobre el umbral de firmeza) promediando $173 g_f \text{ mm}^{-1}$. Se observó además un calibre de fruto de 18 mm en promedio, lo que más bien puede ser considerado como un fruto grande. En torno a la acumulación de sólidos solubles totales a la cosecha, la fruta presentó un 11,9%, mientras que un 0,42% se observó en acidez titulable (**Cuadro 5.5**).

La firmeza luego de la primera cosecha no mostró diferencias significativas entre las diferentes frecuencias de cosechas, así en la cosecha 2 de los tratamientos, toda la fruta alcanzó en promedio $173 g_f \text{ mm}^{-1}$ (**Figura 5.9**). Para cosecha 3 y 4 de igual manera no se observaron diferencias significativas entre las frecuencias.

Al término del ensayo, al evaluar la firmeza de la temporada de las distintas frecuencias de cosechas, no fue posi-

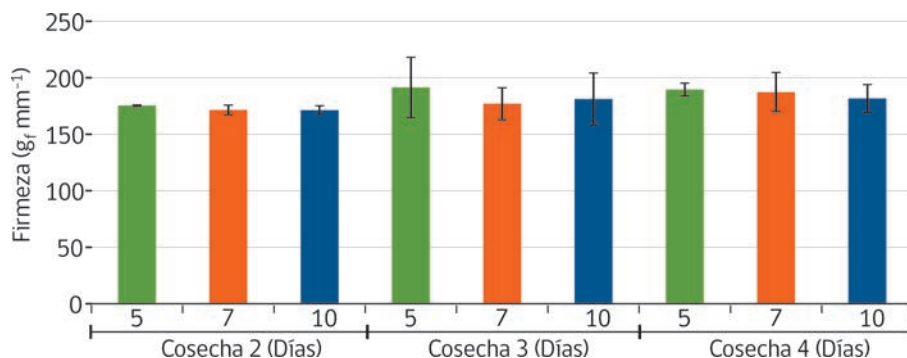


Figura 5.9. Firmeza de fruta ($g_f \text{ mm}^{-1}$) bajo distintas frecuencias de cosecha (5, 7 y 10 días), para la variedad Blue Ribbon. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (LSD Fisher $p \leq 0,05$) entre tratamientos para una cosecha. Las barras de error indican error estándar.

ble observar diferencias entre estas, de tal modo que la firmeza promedio de la fruta para la temporada 2020–21 fue de $177 \text{ g}_f \text{ mm}^{-1}$ (Figura 5.9).

Con respecto a la productividad de mano de obra en la temporada (Figura 5.10), se confirma que la frecuencia de 5 días como la que obtuvo la menor productividad logrando $42,4 \text{ kg JP}^{-1}$; luego le sigue el tratamiento cada 7 días alcanzando una productividad de $50,5 \text{ kg JP}^{-1}$. Mientras que el tratamiento con una frecuencia de cosecha de 10 días se confirma como el tratamiento que mostró mayor productividad con $63,5 \text{ kg}$ de fruta cosechada por jornada-persona.

La variedad Blue Ribbon se caracteriza por presentar una alta firmeza, lo cual se vio reflejado en el estudio, en donde la fruta no presenta diferencias entre las cosechas con frecuencias más acotadas y las cosechas con mayor distanciamiento de días. Por otro lado, la productividad se vio afectada por la frecuencia de días entre las cosechas, donde cosechar cada 10 días permite una mayor productividad de la mano de obra repercutiendo en los costos de cosecha para el productor.

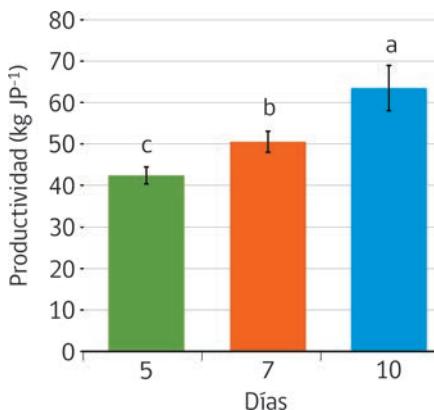


Figura 5.10. Productividad de la mano de obra (kg JP^{-1}) bajo distintas frecuencias de cosecha (5, 7 y 10 días), para la variedad Blue Ribbon. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (LSD Fisher $p \leq 0,05$) entre tratamientos para una cosecha.

5.4 Factores humanos que determinan la productividad de los cosecheros en arándanos

El resultado de productividad de la mano de obra en un huerto es una ecuación que está determinada por dos componentes estrechamente relacionados entre sí. El primero de ellos, y que ha sido descrito en profundidad a lo largo del capítulo, tiene relación con la oferta de fruta a cosechar, y el cual es el resultado de la gestión técnica del huerto. Esta se inicia desde la elección de variedades, al momento de la plantación, y finaliza como producto de todas

aquellas prácticas de manejo agronómico, que determinan la productividad y calidad de fruta al momento de la cosecha. El segundo factor complementario, tiene relación con todos aquellos factores humanos, que determinan la productividad de la mano de obra. Dichos factores tienen relación con las habilidades y destrezas que adquieren las personas con la experiencia, y las motivaciones personales que determinan la productividad individual de los trabajadores. El resultado final de este componente, tiene relación con la gestión de recursos humanos de un huerto. Esta se inicia desde la etapa de identificación y reclutamiento de trabajadores temporales, continúa con la operación y manejo de los trabajadores en cosecha, y finaliza con la evaluación de la productividad individual en un periodo de tiempo.

Dentro de este último proceso de evaluación de productividad individual, se describe a continuación el análisis de la productividad, y algunos de los aspectos que deben ser considerados al momento de iniciar la etapa de reclutamiento de trabajadores temporales, durante la próxima temporada. Es común observar que existe una alta heterogeneidad de la productividad laboral agrícola, siendo este uno de los puntos críticos de la actividad frutícola. Estudios de productividad laboral muestran que un trabajador altamente productivo puede ser en promedio hasta cuatro veces más rápido en cosechar, respecto a un trabajador de baja productividad, llegando a producirse las divergencias más grandes entre las productividades mínimas y máximas por temporada, llegando a alcanzar diferencias de hasta 10 veces de productividad individual (**Figura 5.11**).

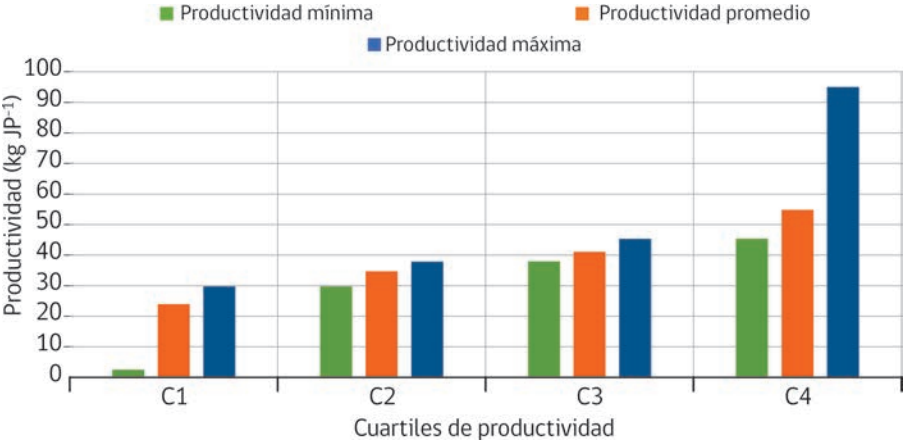


Figura 5.11. Productividad de los trabajadores en cosecha (kg JP^{-1}), segmentados por cuartiles y variación de la productividad entre los grupos de trabajadores temporales.

Una herramienta de categorización de los trabajadores de alto valor para gestión y manejo de cosecha es la creación de grupos de productividad (cuartiles). Al analizar los cuartiles, en forma particular, es posible observar que aquellos grupos de alta productividad (cuartil 4) son más productivos en todo momento de la cosecha, y aumentan su productividad al aumentar la disponibilidad de fruta. Por el contrario, un trabajador poco productivo, aunque aumente la disponibilidad de fruta en el huerto, no incrementa su productividad individual (cuartil 1) (**Figura 5.12**).

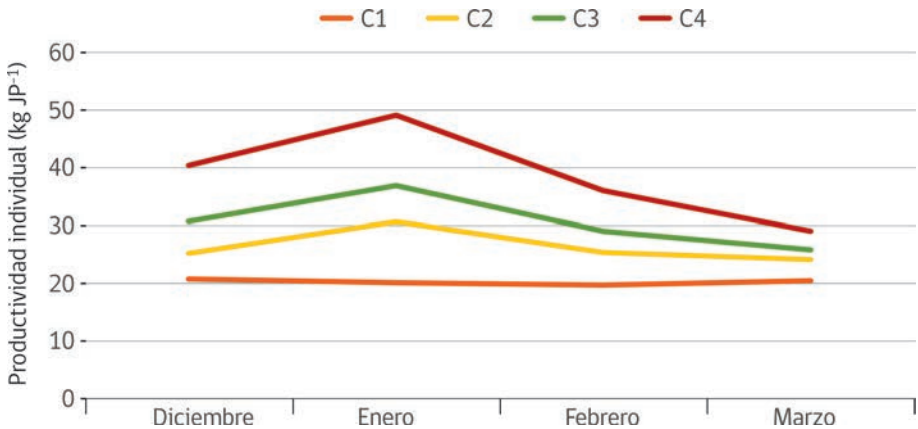


Figura 5.12. Productividad de la mano (kg JP⁻¹) obra de 4 grupos de productividad (cuartiles) a lo largo de una temporada de cosecha.

Al observar dichos resultados, es válida la pregunta que señala cuales son los aspectos que hacen a un trabajador ser más productivo que otro. En general la respuesta es compleja, y sin duda de carácter multifactorial. Un trabajador más productivo es una suma de aquellas destrezas y habilidades, que va adquiriendo con su experiencia a lo largo de las cosechas que haya realizado. Es preciso además tener una condición física acorde a los requerimientos, que permitan enfrentar el desarrollo de jornadas de trabajo, expuestas a fuertes cambios en las condiciones climáticas. Requieren además, hacer un buen uso de aquellas posiciones ergonómicas de su cuerpo, que le permitan mantener posturas cómodas, y que puedan minimizar dolores musculares. Por cierto que las motivaciones personales son uno de los factores cruciales que determinan la productividad individual. Estas obedecen a una combinación de compensaciones, de tipo monetarias, establecidas en los tratos de trabajo, en función de productividad diaria, y a una serie de

otras compensaciones de tipo no monetarias, ligadas al buen trato, clima laboral y el desarrollo de entornos de camaradería y apoyo entre compañeros de labor.

A continuación se describen algunos indicadores de gestión de la productividad de la mano de obra, desde útiles para enfrentar la etapa de reclutamiento, hasta la etapa de operación y manejo de trabajadores temporales en huertos de arándanos y que orientarán a la mejor toma de decisiones para las empresas.

Al reclutar empleados de mayor productividad, la empresa disminuye los costos totales de producción, porque reduce el número de personal que requiere transporte, alimentación, costos fijos asociados a remuneraciones, y requerimiento de hospedaje en ciertas ocasiones. Se obtuvieron registros de tres temporadas de cosecha del predio en estudio. Estos datos señalan que al predio ingresaron más de 1.100 trabajadores distintos. Esta información es uno de los insumos más importante para realizar reclutamiento dirigido, la cual permite clasificar, conocer y por cierto decidir quiénes son los trabajadores que se deben reclutar. A partir de esta información, fue posible determinar aquellos factores de productividad asociados a la edad y el género son básicos para la toma de decisiones. En cuanto al género, se observó que sobre un universo total de 582 trabajadores, el 52% de ellos corresponden al género femenino. Al analizar la productividad individual en cuanto a género, el estudio señala que las mujeres de esta unidad fueron estadísticamente ($p < 0,05$ T student) más productivas que los hombres, en donde una mujer cosechó en promedio 33,9 kg JP⁻¹ por temporada, y un hombre 28,9 kg JP⁻¹. Esto impactó completamente sobre los resultados finales de temporada, ya que el 52% de las mujeres cosecharon el 65% del volumen total de fruta (**Cuadro 5.6**).

Al analizar los factores de edad al ser categorizados en distintos segmentos, estas diferencias fueron importantes. Sobre un universo de 552 trabajadores, se pudo observar un alto porcentaje de los cosecheros es del segmento de jóvenes (menos de 24 años). El análisis de la información señala que el segmento adulto, mayor a 24 años y menor a 60 años, fue estadísticamente más productivo (t-Student $p < 0,05$;

Cuadro 5.6. Volumen de cosecha (kg) comparativo hombres y mujeres. Predio Collipulli, Región de La Araucanía.

Género	Volumen cosechado (kg)	Proporción (%)
Femenino	209.473 ^a	65
Masculino	114.632 ^b	35
Total	324.105	100

32,39 kg JP⁻¹ Temporada) que el segmento joven (29,17 kg JP⁻¹ temporada). Como se observa en el **Cuadro 5.7**, el 36% de los adultos se encargan de cosechar el 45% del volumen de fruta cosechada.

Cuadro 5.7. Volumen de producción (kg) comparado jóvenes vs. adultos.
Comuna de Collipulli, Región de La Araucanía, Chile.

Parámetro	Edad cosecheros		Total
	Intervalo (14 - 23 años)	Intervalo (24 - 78 años)	
Nº de cosecheros	355	197	552
Proporción de cosecheros (%)	64	36	100
Volumen cosechado (kg)	162.953	135.391	298.344
Proporción (%)	55	45	100

5.5. Comentarios finales

Uno de los principales desafíos que enfrenta la fruticultura nacional hoy, se orienta a aumentar la productividad de la fuerza laboral, y en efecto, disminuir los requerimientos de mano de obra agrícola de baja productividad. Del mismo modo, dicho incremento de la productividad, debe ser compensada con el aumento en el salario de los trabajadores y el mejoramiento de las condiciones laborales.

Es necesario reunir todos los esfuerzos que sean necesarios para hacer que la actividad frutícola, sea un espacio de trabajo atractivo para aquellas personas cuyo interés sea emplearse temporalmente en labores de cosecha. De este modo, los trabajadores al contar con un nivel de salario de mercado, estarán más satisfechos y motivados con aspectos no financieros que financieros, es decir, preferirán transparencia, buen clima laboral, valorización del trabajo, reconocimiento; mientras que trabajadores con salario bajo de mercado, tendrán preferencias por aspectos más financieros.

El desafío de aumentar la productividad de la mano de obra se materializa mejorando la gestión, mediante la atracción y retención del personal más productivo, el desarrollo de políticas de recurso humano, mejorando los procesos de reclutamiento y selección de los trabajadores, perfeccionando las estrategias de incentivos, fidelización y progresando en las compensaciones no monetarias, que son todas aquellas acciones, que no demandan un costo incremental a la unidad productiva, pero que apuntan a mejoras sustanciales en clima laboral y beneficios para los trabajadores.

Como se ha observado, la principal dificultad relativa a la demanda de mano de obra reside en su naturaleza estacional. Durante el año, la cantidad de trabajadores requeridos por los cultivos va cambiando de acuerdo a las labores a desarrollar. En los meses de otoño e invierno la actividad disminuye y en los meses estivales los requerimientos aumentan. Por el tipo de estructura de producción, la estrategia de los productores, busca mantener el mínimo de trabajadores permanentes durante todo el año y recurrir a los trabajadores temporeros en los meses de mayor trabajo. Esta es una característica fundamental del sector agrícola, que lo diferencia del resto de las actividades económicas del país.

Desde que partió el problema de la escasez de mano de obra, en el sector se han comenzado a proponer diferentes soluciones, entre las que se encuentra la mecanización de labores. Hay que señalar que esta alternativa, muestra beneficios y dificultades. La mecanización de labores se puede implementar principalmente en aquellas plantaciones destinadas a la producción de bienes industriales, donde la fruta es parte de un proceso, pero es más difícil en aquellas donde el consumidor recibe el producto para consumirlo en fresco. Tal es el caso de la uva de mesa, las cerezas y los arándanos.

Se puede concluir que el conocimiento de la gestión de mano de obra de las empresas agrícolas en el sur de Chile, es aún incipiente, con amplios espacios de mejora, que sin duda impactarán la productividad individual, en la menor rotación de cosecheros, mayores beneficios para los trabajadores, y mejores relaciones de confianza, que sin lugar a dudas permitirán alcanzar el potencial de calidad de fruta, que hará que la industria del arándano en Chile, mantenga posiciones de liderazgo en el hemisferio sur.

5.6. Referencias

González, A., Subercaseaux, J., Ellena, M. 2013. ARÁNDANOS: Optimización de la productividad de la mano de obra y tecnologías para el incremento de calidad y condición en el sur de Chile. Publicación editada en el contexto del proyecto CORFO "Transferencia de Tecnologías para Mejorar Calidad y Condición de la Fruta y Optimizar la Productividad de la Mano de Obra, en Huertos de Arándanos en la Zona Sur de Chile".

ODEPA, 2012. Estudio: «Estimación y caracterización de la demanda de la mano de obra asociada a la fruticultura de exportación». Oficina de Estudios y Políticas Agrarias www.odepa.gob.cl. Estudio encargado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura 2012.

Capítulo 6

Tecnologías de postcosecha para arándano: avances y optimización para envíos distantes

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Pablo Ulloa F.

Ingeniero de Alimentos, Dr.

Edgard Álvarez R.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Belén Trejo I.

Ingeniera Agrónoma

Daniela Olivares Z.

Ingeniera en Biotecnología Molecular, Dra.

Rosa Molina M.

Técnico Industrial (men. Química)

Sebastián Rivera S.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Diversas tecnologías se han desarrollado y utilizado en arándano con el objetivo de extender la vida útil del producto a través de la disminución o ralentización de los procesos de deterioro, siendo la base de todas estas tecnologías el manejo adecuado de la cadena de frío en todas las etapas. Sin embargo, ya que un excelente manejo de temperatura no es suficiente para llegar con fruta de buena calidad y condición a mercados distantes, para complementar esta base durante las etapas de almacenamiento y tránsito a destino, se han implementado una serie de tecnologías orientadas a extender la vida útil de producto, tecnologías que deben considerar los grandes desafíos que implica extender la vida de postcosecha de un fruto susceptible a la deshidratación, ablandamiento e incidencia de pudriciones, como ya fue mencionado en los capítulos anteriores. Por otro lado, además de la necesidad de abarcar mercados más distantes, y con consumidores más exigentes, se suman dificultades de logística interna o externas que obligan a entender el potencial y limitaciones de las principales tecnologías en uso, que es el objetivo de este capítulo.

6.1. Modificación de la atmósfera durante almacenamiento/tránsito

Teniendo como base de un buen manejo de postcosecha en arándanos el uso de baja temperatura a niveles óptimos, dentro de las tecnologías disponibles para la extensión de la vida de postcosecha, las más utilizadas se basan en la modificación de la composición de gases, principalmente oxígeno y dióxido de carbono, durante almacenamiento y/o transporte, siendo la atmósfera controlada (AC) a nivel de contenedor, y la atmósfera modificada (AM) a nivel de caja o pallet (**Figura 6.1**) las más comunes. Ambas técnicas se basan en el efecto sobre la fisiología de la fruta mediante la disminución de la actividad metabólica. Dentro de los potenciales beneficios de estas tecnologías se pueden mencionar, (i) reducción de tasa respiratoria y eventualmente etileno, (ii) reducción de la deshidratación en el caso de la AM, y (iii) un menor desarrollo de pudriciones, siempre y cuando se utilicen correctamente las concentraciones de gases, como será revisado a continuación para AC (Smrke *et al.*, 2021).



Figura 6.1. Gran parte de las tecnologías para extender la vida útil de arándano se basan en modular el metabolismo de la fruta, por ejemplo a través del control de tres procesos cruciales como son la respiración, la producción de etileno y la pérdida de vapor de agua.

Si bien ambas tecnologías se basan en la modificación de O_2 y CO_2 en el ambiente que rodea la fruta, ambas tecnologías son muy distintas tanto en su mecanismos de establecimiento como en los beneficios a obtener con su uso. Por ejemplo,

los niveles de O_2 y CO_2 logrados a través del uso de AM son muy dependientes de las características de la fruta (tasa respiratoria), de la cubierta o el material de embalaje (films, relacionado a su permeabilidad), y del ambiente, en donde la temperatura tiene un rol crucial. Al contrario a lo que sucede en AM, en AC las concentraciones de gases utilizados son mantenidos y/o ajustados de forma continua durante todo el almacenamiento o tránsito de la fruta, lo que en parte lo independiza de los factores mencionados para AM (Rodriguez & Zoffoli, 2016).

6.1.1. Atmósfera Controlada (AC)

En arándano, el uso de AC se focaliza a nivel del contenedor marítimo mientras la fruta está en tránsito a destino. No se reporta a nivel comercial el uso de cámara de atmósfera controlada para extender la vida útil. Por lo tanto, la efectividad de la tecnología de AC se logrará cuando la fruta se encuentre dentro del contenedor, por lo que las labores que ocurren previo en la fase de producción, cosecha y proceso (origen), así como la logística de venta en el mercado de destino serán cruciales para apreciar los beneficios de la tecnología.

Respecto al manejo de gases en AC, para arándanos las concentraciones que han mostrado ventajas en la extensión de postcosecha son de 2-5% para O_2 y 10-15% para CO_2 a 0 °C. Los efectos benéficos de altas concentraciones de CO_2 se relacionan principalmente con el control (fungistático) de patógenos, como *Botrytis cinerea*, efecto que se ha reportado en otras frutas como frutillas y uva de mesa. Por lo tanto, si el objetivo del uso de AC es la reducción de la incidencia de pudriciones, se debe garantizar un nivel mínimo de CO_2 de 8%, y donde a una mayor concentración de CO_2 mayor será la efectividad en reducir la incidencia de pudriciones (**Figura 6.2**).

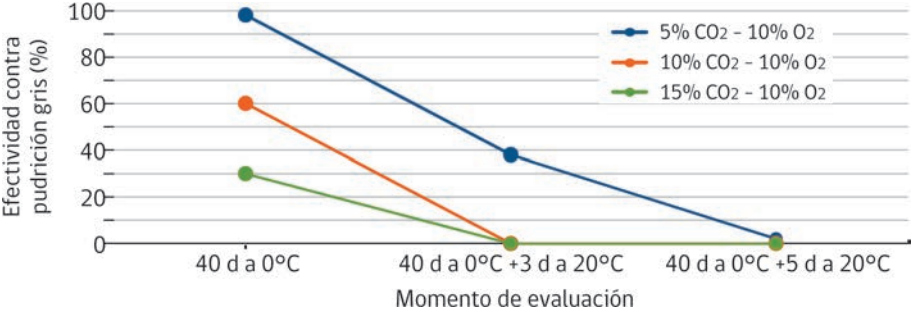


Figura 6.2. Efectividad de distintos niveles de CO_2 (5, 10 y 15%) en el crecimiento de *Botrytis cinerea* en arándano durante almacenamiento por 40 d a 0 °C, y luego expuesta por 3 y 5 d a 20 °C. Fuente: Unidad de Postcosecha, INIA.

En la **Figura 6.3** se puede observar que el uso de una concentración de 10% de CO₂ es más efectiva que una de 5% CO₂ en reducir la incidencia de pudriciones en la variedad Top Shelf. Si bien para Blue Ribbon no se observan diferencias entre ambas concentraciones, este resultado está relacionado con la menor carga de inóculo de esta variedad en la cosecha. Por lo tanto, el uso de tecnologías como la AC no reemplazan la importante necesidad de realizar un adecuado manejo de hongos durante la etapa de producción.

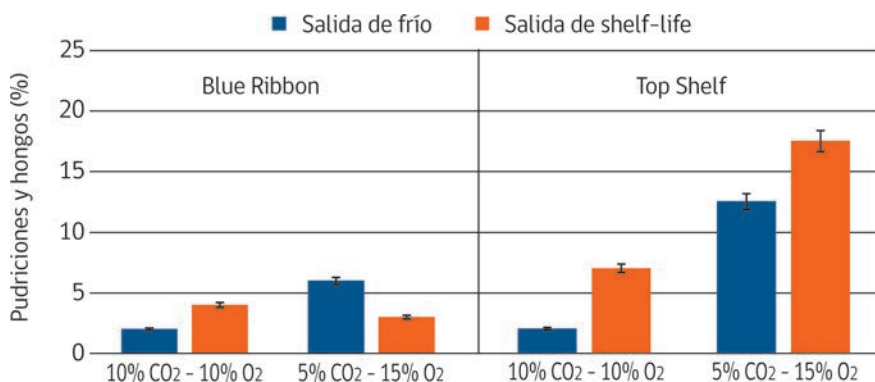


Figura 6.3. Incidencia de pudrición gris (%) en arándano cvs. Blue Ribbon y Top Shelf almacenados por 40 días a 0 °C en atmósfera controlada con 10%CO₂ - 10%O₂ y 5%CO₂ - 15%O₂. Se presentan los resultados a salida de almacenamiento y luego de un período de 3 días a 20 °C (shelf-life). Fuente: Unidad de Postcosecha, INIA.

Además, es importante mencionar que este efecto del alto nivel de CO₂ es fungistático, no es fungicida, y una vez que la fruta es removida del contenedor al ambiente, la expresión de la enfermedad se manifiesta, independiente del nivel de CO₂ utilizado. Como se observa en la **Figura 6.3**, para la variedad Top Shelf, la efectividad del uso de AC que se observa a salidas de frío en una menor incidencia de pudriciones, no se mantiene una vez que la fruta se expone a comercialización. Por lo tanto, el uso de AC por sí sólo no es garantía de llegar con un producto ausente de pudriciones.

En el caso de utilizar niveles inferiores a 8% de CO₂ durante tránsito en contenedor de AC, es importante tener claro que el principal beneficio de la tecnología será la ralentización del metabolismo del fruto, pero sin un efecto en el menor desarrollo de hongos. En la **Figura 6.3** se observa que para el caso de la variedad Top Shelf, un nivel de 5% de CO₂ no disminuyó la incidencia de pudriciones comparado con un 10% de CO₂.

De los factores que determinan cuales son las concentraciones ideales utilizadas para alcanzar un máximo beneficio en postcosecha, se menciona que uno de ellos estará dado por la susceptibilidad que tiene cada variedad a los bajos niveles de O_2 y altos de CO_2 (Duarte *et al.*, 2009, Catuneanu *et al.*, 2017). Es importante mencionar que niveles muy bajos de O_2 o muy altos de CO_2 pueden generar procesos metabólicos fermentativos resultando en el desarrollo de sabores o aromas extraños en la fruta (*off-flavors*), pardeamientos o decoloraciones; incluso una mayor incidencia de pudriciones, los que sin lugar a dudas son causa de rechazo al momento de la venta (Beaudry *et al.*, 1998; Bof *et al.*, 2021). Esto acompañado de la degradación de la calidad nutricional de la fruta, expresados normalmente por la presencia de compuestos bioactivos (ej. fenoles) (Smrke *et al.*, 2021; Tobar-Bolaños *et al.*, 2021).

Dado el alto número de variedades disponibles en mercado, las distintas condiciones agroclimáticas y de manejo bajo la cual son producidos los arándanos, la variabilidad en el estado de madurez de la fruta a cosecha, y los distintos tiempos de exposición a la modificación de gases a los cuales son expuestos los frutos; se hace necesario realizar una revisión exhaustiva sobre la real susceptibilidad de las distintas variedades a los niveles de gases utilizados. La utilización de concentraciones de gases inadecuadas también tendría una injerencia negativa sobre la firmeza de los arándanos; y es el caso que en algunas variedades se ha observado un efecto negativo con concentraciones crecientes de CO_2 . Sin embargo, este efecto dependerá fuertemente del grado de sensibilidad al CO_2 de la variedad, la firmeza basal a cosecha, el estado de madurez o senescencia de la fruta, tiempos de consolidación de la tecnología, concentración de los gases utilizados y tiempo de exposición.

En esta línea, ante el desconocimiento del comportamiento fisiológico de cada variedad, es recomendable utilizar concentraciones de 8-12% de CO_2 y 10% de O_2 , para asegurar sobre un 50% de efectividad respecto a atmósferas de aire regular, sin afectar severamente la firmeza del fruto (Saito *et al.*, 2020). Como se mencionó, la utilización y mantención de una temperatura apropiada durante toda la cadena, es uno de los factores primordiales para tener éxito con AM; caso contrario se acelerarán los procesos perjudiciales ya mencionados. Además, es importante considerar el factor varietal, ya que las tasas respiratorias varían dependiendo de ello (Smrke *et al.*, 2021).

Respecto al uso de AC en contenedor, es necesario tener muy claro que no necesariamente se logran los niveles de humedad relativa en el ambiente necesarios

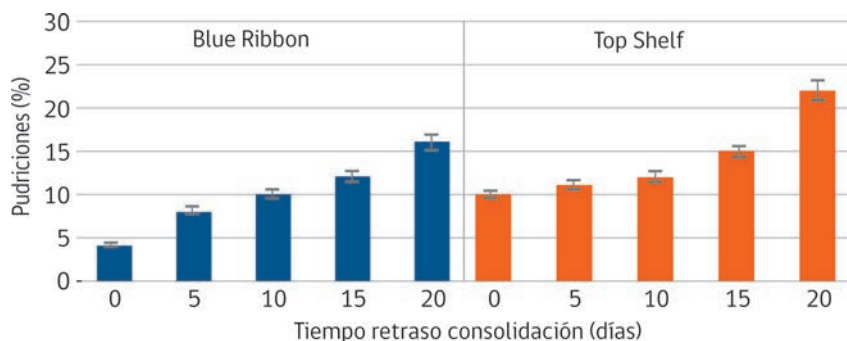
para disminuir la pérdida de peso por transpiración (Capítulo 1), lo cual puede tener efectos negativos al no garantizar una firmeza adecuada de los arándanos, sobre todo en envíos distantes. Para complementar el uso de AC se utilizan envases (bolsas a nivel de caja o pallet) de un nivel de ventilación de 0,1 a 0,9% los cuales, sin restringir el intercambio de O_2/CO_2 como se discute más adelante en este capítulo, si permiten restringir la salida de vapor de agua aumentando la humedad relativa en el ambiente.

Como en toda tecnología, la efectividad de la AC es dependiente de una serie de variables, no necesariamente asociadas a la tecnología propiamente tal. Entre estas se puede destacar (i) la importancia de partir con una materia prima óptima a cosecha, la cual incluye aspectos de manejo agronómico (nutrición, riego, etc), estado de madurez a cosecha y un adecuado control de hongos durante la precosecha, (ii) la necesidad de realizar un proceso adecuado de cosecha y transporte a proceso (revisado en Capítulo 4) y (iii) la importancia de consolidar el contenedor de AC lo más cercano a cosecha.

En este último caso, en un estudio realizado en la Unidad de Postcosecha de INIA, se revisó el efecto que puede tener el retraso en consolidación del contenedor de AC, que ocurre en origen en la planta de proceso, en variables de calidad y condición luego de transporte y almacenamiento. Este retraso en consolidación de la carga para su envío a mercados puede ocurrir por una serie de factores, que van desde la falta de capacidad de procesos de la materia prima, las dificultades en consolidar un lote de fruta para su envío a destino, o por las dificultades en la disponibilidad de contenedores de acuerdo a la demanda de la empresa exportadora.

Para las variedades Blue Ribbon, Top Shelf y Legacy (**Figuras 6.4 y 6.5**), se observó que a medida que se retrasaba la consolidación del contenedor, y por lo tanto su envío a los mercados de destino, esto implicaba una mayor incidencia de pudriciones y un aumento en fruta blanda en destino.

Este efecto negativo en la condición de la fruta está dado tanto por la demora en el ingreso a condiciones adecuadas de AC en las cuales se logra el beneficio de la tecnología, así como el mayor aumento en días de la fruta entre cosecha y arribo a mercado. Si comparamos en el **Cuadro 6.1** el aumento de los días de retraso, podemos observar que sólo por este concepto podemos pasar de un arándano que entre cosecha y consumo se vendería en 35 días, con buena firmeza y baja incidencia de pudriciones, a un producto que se comercializará en 55 días, retraso de 20 días, con fruta blanda y alta incidencia de pudriciones.



Figuras 6.4. Incidencia de pudriciones y hongos en cvs. Blue Ribbon y Top Shelf, luego de 30 días de tránsito en función de los días de atraso en consolidación de contenedor en origen.

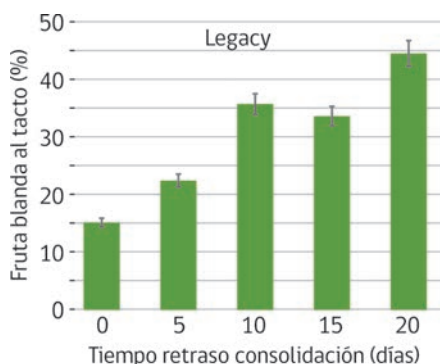


Figura 6.5. Incidencia de fruta blanda, luego de 30 días de tránsito en arándano Legacy, en función de los días de retraso de consolidación de contenedor.

Este es un punto crucial a considerar para proveedores de arándano a mercados distantes ya que cualquier retraso, ya sea por consolidación del contenedor como se discutió anteriormente, un aumento de los días de tránsito, o una mayor número de días en el mercado de destino resultará en una fruta de menor calidad global independiente de la tecnología utilizada para extender su vida útil. Desde un punto de vista del proveedor de la fruta en origen, las labores de logística

Cuadro 6.1. Días totales entre cosecha y venta en arándanos bajo distintas condiciones de retraso en consolidación en origen.

Tiempo en origen a consolidación (días)	Tiempo en tránsito (días)	Tiempo en destino (días)	Tiempo total (días)
0	30	5	35
5	30	5	40
10	30	5	45
15	30	5	50
20	30	5	55

de cosecha ya explicadas en el Capítulo 4, más una consolidación oportuna del embarque en cámara de barco o contenedor son estrategias claves para llegar con fruta óptima a destino.

6.1.2. Atmósfera Modificada (AM)

El uso de atmósfera modificada en arándano, que implica el uso de un film o bolsa de permeabilidad diferencial a gases, se inició hace más de 20 años, y donde específicamente los pallets se cubrían con una bolsa o capuchón con el objetivo de lograr altos niveles de CO_2 al interior del envase y disminuir la deshidratación. Posteriormente, el uso de bolsas se focalizó especialmente a nivel de cajas individuales, y donde el objetivo es la reducción de la deshidratación y disminución del metabolismo, es decir, ya no se tenía como objetivo el control de enfermedades a través de la acumulación de niveles de CO_2 mayor a 8%.

En el caso de atmósfera modificada, los niveles de ambos gases se logran a través del consumo de O_2 y liberación de CO_2 vía respiración de la fruta, y cuya tasa estará en función de la intensidad respiratoria de la fruta, las características del film y la temperatura ambiente. A diferencia de la AC, la estabilización de los niveles de ambos gases puede tardar un tiempo en lograr las concentraciones deseadas, y una alternativa que se utilizaba en los primeros desarrollos de la AM para llegar en forma más rápida a la concentración de gases adecuada, era mediante la inyección inicial de gases (atmósfera modificada activa) las que posteriormente se mantenían dependiendo de los parámetros mencionados anteriormente tales como la tasa respiratorio de la fruta y permeabilidad del material de envase (Falagán *et al.*, 2020; Defilippi *et al.*, 2020).

Hay que recordar que a diferencia de la AC, el uso de AM acompaña a la fruta desde el momento de embalaje, es decir desde que la fruta ingresa al packing o sala de proceso, por lo que será esencial el manejo de una adecuada temperatura durante todas las etapas. Quiebres térmicos en la cadena de frío provocan condensación, aumento de la respiración de los frutos con incrementos críticos en la concentración de CO_2 y agotamiento del oxígeno, lo que pueden generar en casos extremos una condición de anaerobiosis particularmente en envases alta barrera al oxígeno (baja permeabilidad al O_2). En base a esto, se ha observado que la industria de AM ha apostado por diferenciar sus líneas de productos en base a los ejes de la permeabilidad de los materiales y el manejo de la condensación (aditivos antifog). En cuanto a permeabilidad de gases, la mayoría de los proveedores de bolsas AM apuntan a mantener ambientes de 2–4% CO_2 y >15% de O_2 ,

de manera que ante quiebres de temperatura no tengan las dificultades de caer en rangos que generen un daño en el producto, sobre todo en mercados donde no existen las condiciones ideales para una adecuada manejo de temperatura.

A diferencia de lo mencionado para AC, un efecto diferenciador crucial de uso de AM está en reducir en forma eficiente la pérdida de vapor de agua desde el fruto, al permitir la mantención de una alta humedad relativa al interior del envase disminuyendo el déficit de presión de vapor (DPV) entre el ambiente y la fruta. Esto ha permitido reducir las pérdidas de peso por transpiración desde un 5–8%, observado para almacenamientos en aire regular o AC, hasta niveles inferiores al 1% en el caso de AM (**Figura 6.6**). En la Figura se observa además que utilizando materiales de baja ventilación, como 0,9% en este caso, es posible disminuir los niveles de pérdida de peso en arándano enviados utilizando AC.

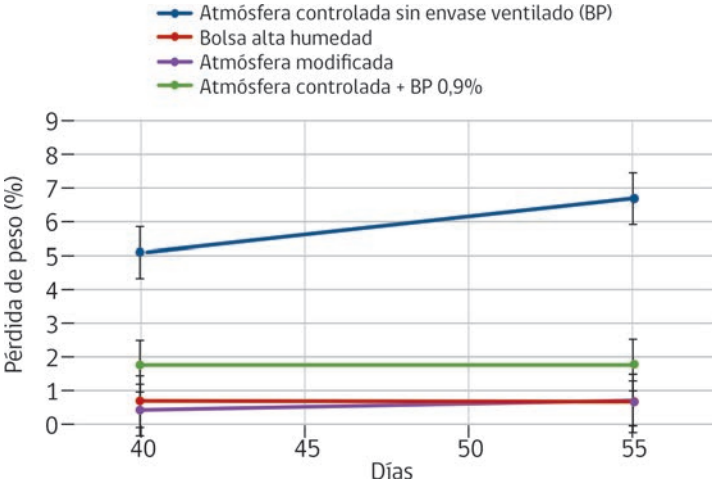


Figura 6.6. Efecto de atmósfera controlada y envase de atmósfera modificada en la pérdida de peso en arándano, variedad Blue Ribbon. Se observa que el uso de materiales de baja permeabilidad a vapor de agua permiten reducir las pérdidas de peso. BP = envase ventilado.

Como se explicó en el Capítulo 1, la mantención de una mayor humedad relativa implica una mayor firmeza del fruto durante el almacenamiento. En la **Figura 6.7** se observa para la variedad Duke una importante caída en firmeza, medida como Fuerza Máxima con texturómetro, durante los 45 días de almacenamiento sin AM, en cambio al utilizar un envase de AM se logra mantener los niveles de firmeza medidos a cosecha.

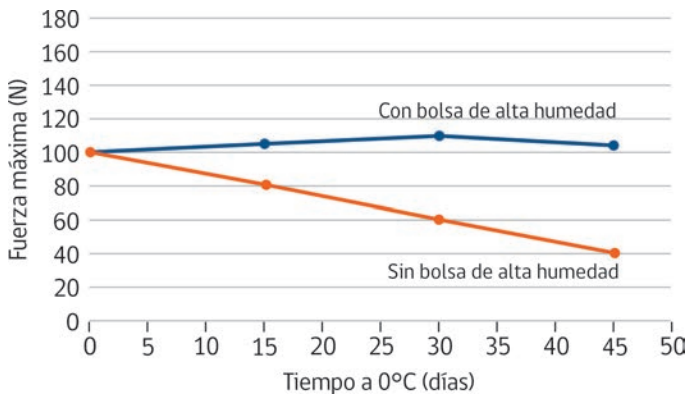


Figura 6.7. Efecto benéfico de la atmósfera modificada en mantener la firmeza del arándano en la variedad Duke (línea azul). La mayor humedad relativa al interior del envase, con la reducción del DPV, permite mantener los niveles de deshidratación inferior a 1%. Un arándano sin envase AM (sin bolsa) está expuesto a una mayor pérdida de vapor de agua desde el fruto y con una pérdida de firmeza.

Dentro de las precauciones que hay que considerar al trabajar con AM destacan que en general los procesos de enfriamiento del producto son más lento al existir un mayor número de barreras, y que los materiales de embalaje (films) no deben sufrir daños (perforaciones), ya que de lo contrario se perderá la atmósfera benéfica (Chiabrando & Giacalone, 2011). Este último punto es más frecuente en films para pallets que los utilizados para cajas individuales.

Para poder compatibilizar modificación de gases y quiebres de temperatura, la industria ha ampliado y variado su oferta de materiales de embalajes (bolsas) con el uso de distintos materiales como la membrana termoactiva, que tiene por objetivo responder con permeabilidad dinámica a las condiciones de temperatura de almacenaje; a la vez que ofrece distinta cantidad y tamaño de microperforaciones y variedad de espesores (**Cuadro 6.2**).

Sobre los manejos de humedad relativa y condensación, algunas empresas han desarrollado aspectos como el reemplazo del polietileno de baja densidad (LDPE) por materiales en base a poliamidas (PA), para favorecer la salida del exceso de agua desde el interior de la bolsa. Sin embargo, existe preocupación de que este tipo de material promueva la deshidratación del producto y por consecuencia el ablandamiento de la fruta. En general en todos los materiales evaluados en la Unidad de Postcosecha de INIA, si bien se han observado diferencias en el nivel de humedad relativa al interior de la bolsa, no se ha reflejado en un efecto

Cuadro 6.2. Aplicación de atmósfera modificada utilizando diferentes materiales de envases.

Especificaciones material embalaje	Variiedad	Condiciones Postcosecha	Efectos
PE film (100 µm) Biobasado film (50 µm)	Duke	1 °C, 45 días 10% CO ₂ + 11%O ₂	↓ 10% pérdida peso
LDPE bolsa fuelle ViewFresh® (50 µm; 0,02 guage)	Brigitta	0 °C, 30 y 45 días + 18 °C, 1 - 3 días	↑ 20-30% frutos sanos Mantención de la firmeza Almacenamiento
2 microperforaciones (0,3 mm ²), LDPE (60 µm)	Brigitta	0 °C	↓ 3% pérdida peso post 30 días y 6,4% post 45 días
No perforadas	Brigitta	30 - 45 días	↑ 16,8% frutos blandos post 30 días y 12% post 45 días 5% berries rojos
LDPE (60 µm)	Brigitta	0 °C	↓ 3% pérdida peso post 30 días y 6.4% post 45 días
Dos perforaciones (3 mm ²)	Legacy	30 - 45 días	Mantención firmeza durante almacenaje ↑ 5% y 10% frutos rojos post 30 - 45 días, respectivamente.

Fuente: Adaptado de Huynh et al. (2019).

negativo en firmeza. Por otra parte, los aditivos antifog, agregado a la matriz polimérica de la bolsa, son otra apuesta en el desarrollo que evita la formación de gotas por condensación en la bolsa (Defilippi et al., 2020).

Como se mencionó, en los últimos años con la preocupación en evitar una acumulación excesiva de CO₂ (sobre 8-12%) y agotamiento del O₂ en quiebres térmicos, ha llevado a homogeneizar las características de permeabilidad de las bolsas. En estudios realizados en la Unidad de Postcosecha de INIA, se ha observado que el uso de bolsas AM de distintos proveedores no genera diferencias en concentración de gases, manteniéndose entre 14 y 18% de O₂ y entre 4 y 5% de CO₂. Si consideramos que estos altos niveles de oxígeno tienen un efecto menor en el metabolismo respiratorio y síntesis de etileno, han llevado incluso a algunos especialistas a sacar estas tecnologías de la categoría de atmósfera modificada. Sin embargo, los niveles de CO₂ que se logran aún generan un efecto en ralentizar el avance del proceso de maduración, aunque sin tener un efecto en el control de hongos, por lo explicado en el caso de AC.

6.2. Otras tecnologías

6.2.1. Uso de envases activos

La innovación en las tecnologías de envases, debe asegurar la mantención de la calidad de los arándanos, extendiendo la vida útil junto con facilitar la comercialización y exportación (Yildirim *et al.*, 2018; Ulloa *et al.*, 2019). Dentro de los desarrollos del área de envases, destacan sistemas de envases activos cuya principal función es lograr una interacción positiva entre el envase y el producto, cumpliendo una función más allá de las funciones principales (preservar, conservar, manipular, informar y comercializar), sino que permiten incrementar y mantener las características organolépticas y de inocuidad del producto envasado (Bugatti *et al.*, 2020). Dentro de los envases activos destacan los sistemas liberadores y sistemas absorbedores; los cuales permiten incorporar compuestos activos en la matriz del envase con la capacidad de ser liberados durante su almacenamiento o poseen la capacidad de secuestrar algún componente generado por el producto o proveniente desde el sistema que lo rodea, respectivamente (Bof *et al.*, 2021). Para el caso de arándano, destacan los envases activos con capacidad antimicrobianos, los cuales pueden interactuar directamente con el producto con el objetivo de minimizar o inhibir el deterioro a causa de la presencia de microorganismos, principalmente el ocasionado por la presencia de *Botrytis* (Bugatti *et al.*, 2020). Siendo los principales desafíos para esta tecnología la capacidad de mantener una liberación prolongada y efectiva del activo (antifúngico) durante toda la cadena de comercialización, junto con no presentar efectos colaterales en otros atributos de la calidad global de la fruta (Lehtonen *et al.*, 2020).

Un ejemplo clásico de este tipo de dispositivo con actividad antimicrobiana es una bolsa que emite anhídrido sulfuroso (SO_2) a partir de la hidratación de metabisulfito de sodio que está presente en el polímero. La generación de SO_2 en la atmósfera al interior del envase permite disminuir la incidencia de pudriciones ocasionadas por *Botrytis* en arándano (Rodríguez & Zoffoli, 2016; Saito *et al.*, 2020). En la **Figura 6.8**, se aprecia el efecto benéfico de un envase activo AM, con liberación de SO_2 , en la menor incidencia de pudriciones luego de almacenamiento al compararlo con un envase AM y un envase de baja ventilación.

En uso de envases activos con liberación SO_2 , no han tenido una gran masificación en la industria ya que como toda tecnología necesita de condiciones que permitan expresar los efectos benéficos de la tecnología, y no los efectos dañinos que sí se pueden presentar al igual como se mencionó para las tecnologías ya revisa-

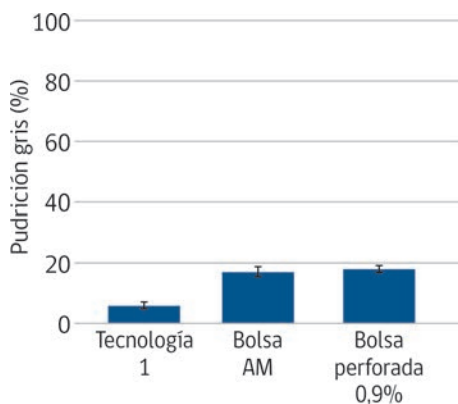


Figura 6.8. Incidencia de pudrición (%) luego de almacenamiento en arándano almacenados con (i) envase de atmósfera modificada, y activo en control de pudriciones (tecnología 1), (ii) atmósfera modificada (AM) y (iii) envase de alta ventilación (bolsa perforada, 0,9%). La fruta no fue gasificada con anhídrido sulfuroso a cosecha.

das. Para los envases activos de SO_2 lo primero es tener la certeza que se esté liberando una cantidad adecuada de producto al ambiente que permita reducir la incidencia de hongos, pero sin causar algún tipo de daño al fruto, como cambios de color e incluso ablandamiento bajo casos extremos de mal uso. Por lo tanto, si bien son una alternativa para complementar el uso de atmósfera modificada requieren de un manejo adecuado de temperatura, y al igual que la AC, no reemplazan un adecuado control de manejo de hongos en precosecha.

Siguiendo con los desarrollos de envases activos, INIA en su Unidad de Postcosecha se encuentra realizando investigación en la línea de envases o

dispositivos activos con actividad antifúngica, principalmente sobre *Botrytis*; orientados al desarrollo de sistemas que ayuden a minimizar la incidencia del hongo en arándanos de exportación, manteniendo sus características y propiedades, junto con comercializar y exportar una fruta de alta calidad e inocuidad.

6.2.2. Tecnologías de apoyo

Además de las tecnologías basadas en la modificación de gases ya discutidas, en la postcosecha de arándano se han implementado, y se están desarrollando, una serie de tecnologías para apoyar la mantención de los atributos de calidad y condición, principalmente dirigidas a la reducir la incidencia de pudriciones en destino. Entre estas podemos mencionar:

- a) **Aplicación de fungicidas durante el proceso:** esta estrategia considera la aplicación de fungicidas a través de equipos electrostáticos previo al embalaje. Si bien se ha implementado en varias plantas de proceso en Argentina, Chile y Perú, los mayores desafíos apuntan a lograr un cubrimiento adecuado del arándano para lograr la concentración adecuada del ingrediente activo que controle el o los patógenos que ocasionan pudrición. En el caso de ingredientes activos de contacto, su efectividad es aún más limitada por las dificultades de cubrir en

forma adecuada el fruto, sobre todo en la zona de los restos florales del fruto donde podría existir inóculo de hongos protegidos (Rivera *et al.*, 2013). Es un área de continua evaluación y donde la incorporación de ingredientes activos sistémicos, y con registro para los mercados de destino, permitirá complementar el manejo de enfermedades realizado en la precosecha.

- b) **Uso de ozono y similares:** el uso de equipos generadores de ozono a nivel de sala de proceso y almacenamiento, ha sido utilizado por años para reducir la carga microbiológica de superficies y el ambiente. En los últimos años se ha evaluado para complementar otras tecnologías, como atmósfera controlada y atmósfera modificada. La eficiencia de las distintas tecnologías basadas en la emisión de ozono, y oxígeno reactivo, está en continua evaluación y entre las variables que determinan su nivel de eficacia se incluyen la concentración y tiempo de exposición al cual la fruta es expuesta (Concha-Meyer *et al.*, 2015; Huynh *et al.*, 2019).
- c) **Inhibidores de etileno:** similar a otras especies como uva de mesa, el etileno en arándano cumple un rol importante en modular atributos de madurez, pero en etapas previa a cosecha, por lo que el uso de inhibidores de la síntesis y acción de etileno no tendrían una utilidad en extender la vida útil de arándanos. A pesar que en la literatura se mencionan efectos benéficos de la inhibición de etileno en la postcosecha de arándano, en trabajos realizados en la Unidad de Postcosecha de INIA considerando más de 30 variedades comerciales, no se observaron efectos benéficos del control de etileno en variables de calidad y condición, como firmeza y control de pudriciones, luego de periodos de almacenamiento de 25 y 40 días. Estos trabajos fueron realizados con variedades del tipo Arándano Alto y Ojo de Conejo. Por otro lado, el uso de dispositivos tipo "sachet" en base a permanganato de potasio utilizados durante almacenamiento para reducir los niveles de etileno en el aire tampoco han demostrado efectos benéficos a la fecha (Huynh *et al.*, 2019).

En los últimos años se están desarrollando una serie de formulaciones en base al inhibidor de la acción de etileno 1-MCP, que permiten liberar 1-MCP durante almacenamiento o tránsito a destino, es decir, en vez de aplicar el 1-MCP a cosecha estos dispositivos permiten liberarlo una vez realizado el embalaje. Una de las limitaciones en estos desarrollos, es la dificultad de cuantificar el 1-MCP liberado, por lo que no existe la certeza de la cantidad y tiempo de liberación del producto, quedando el efecto visual sobre el arándano como la principal respuesta para verificar la eficiencia de la tecnología. En este caso

puntual, es importante evaluar el uso de estas tecnologías considerando la importante variabilidad de la materia prima dada por el gran número de variedades disponibles, estado de madurez a cosecha y manejo agronómico.

- d) **Desarrollo de ceras o “coatings”**: dada la alta relación que existe entre la pérdida de agua y la firmeza en arándano, existen varios desarrollos que apuntan a complementar la cera natural (Bloom) de la epidermis del arándano con la aplicación de recubrimientos o ceras que permitan restringir la pérdida de agua por la epidermis y herida pedicelar del fruto (discutido en Capítulo 1).

Si bien es otra área en continuo desarrollo las principales limitaciones incluyen la dificultad para cubrir en forma homogénea la superficie, incluyendo la herida pedicelar, y la alteración de la apariencia característica de los arándanos. Estos desafíos están siendo abordados por varias instituciones de investigación y empresas, y no se descartan nuevos desarrollos en esta área (Huynh *et al.*, 2019).

6.3. Comentarios finales

Para arándano existen un gran número de tecnologías, las cuales tanto en forma individual como combinadas permiten lograr el objetivo de extender la vida útil de la fruta y llegar con fruta de calidad global óptima al consumidor. Sin embargo, es muy importante como productor/exportador de arándano considerar partir con una calidad óptima de la materia prima a cosecha que permita mostrar los beneficios de las tecnologías que se están aplicando. El control adecuado de enfermedades en precosecha es crucial en este aspecto, tanto como la definición del momento óptimo de cosecha revisado en el Capítulo 2 de este boletín.

Otro aspecto importante que las tecnologías no pueden reemplazar es el manejo óptimo de temperatura, tanto en los temas de logística de cosecha (Capítulo 4), como en las etapas de prefrío, mantención de materia prima, proceso o packing, mantención de producto terminado, tránsito a destino y distribución en mercado. Recordar que estas tecnologías complementan el manejo de frío, y que un mal uso o mala aplicación pueden incluso llegar a comprometer la vida de postcosecha de la fruta. Este capítulo entrega las directrices de las principales tecnologías actualmente en uso, y sin dudas es necesario profundizar su conocimiento para obtener los beneficios esperados.

6.4. Referencias

- Beaudry, R.M., Moggia, C.E., Retamales, J.B., Hancock, J.F., 1998. Quality of "Ivanhoe" and "Bluecrop" blueberry fruit transported by air and sea from Chile to North America. *HortScience* 33, 313–317.
- Bell, S.R., Hernández Montiel, L.G., González Estrada, R.R., Gutiérrez Martínez, P., 2021. Main diseases in postharvest blueberries, conventional and eco-friendly control methods: A review. *Lwt* 149, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112046>
- Bello, F., Montironi, I.D., Medina, M.B., Munitz, M.S., Ferreira, F.V., Williman, C., Vázquez, D., Cariddi, L.N., Musumeci, M.A., 2022. Mycofumigation of postharvest blueberries with volatile compounds from *Trichoderma atroviride* IC-11 is a promising tool to control rots caused by *Botrytis cinerea*. *Food Microbiol.* 106. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104040>
- Bof, M.J., Laurent, F.E., Massolo, F., Locaso, D.E., Versino, F., García, M.A., 2021. Bio-packaging material impact on blueberries quality attributes under transport and marketing conditions. *Polymers (Basel)*. 13, 1–20. <https://doi.org/10.3390/polym13040481>
- Bugatti, V., Cefola, M., Montemurro, N., Palumbo, M., Quintieri, L., Pace, B., Gorrasi, G., 2020. Combined effect of active packaging of polyethylene filled with a nano-carrier of salicylate and modified atmosphere to improve the shelf life of fresh blueberries. *Nanomaterials* 10, 1–14. <https://doi.org/10.3390/nano10122513>
- Catuneanu, I.B., Badulescu, L., Dobrin, A., Stan, A., Hoza, D., 2017. The influence of storage in controlled atmosphere on quality indicators of three blueberries varieties. *Sci. Pap. B-Horticulture* 61, 91–100.
- Chiabrando, V., Giacalone, G., 2011. Shelf-life extension of highbush blueberry using 1- methylcyclopropene stored under air and controlled atmosphere. *Food Chem.* 126 (4), 1812–1816. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.032>.

- Concha-Meyer, A., Eifert, J.D., Williams, R.C., Marcy, J.E., Welbaum, G.E., 2015. Shelf life determination of fresh blueberries (*Vaccinium corymbosum*) stored under controlled atmosphere and ozone. *Int. J. Food Sci.* 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/164143>
- Defilippi, B., Álvarez, E., Ulloa, P. 2020. Actualización en el uso de tecnologías de postcosecha en arándano. *Revista Frutícola* 42(3):47-51
- Delgado, N., Olivera, M., Cádiz, F., Bravo, G., Montenegro, I., Madrid, A., Fuentealba, C., Pedreschi, R., Salgado, E., Besoain, X., 2021. Volatile organic compounds (Vocs) produced by *Gluconobacter cerinus* and *Hanseniaspora osmophila* displaying control effect against table grape-rot pathogens. *Antibiotics* 10. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10060663>
- Duan, J., Wu, R., Strik, B.C., Zhao, Y., 2011. Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 59, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.006>
- Duarte, C., Guerra, M., Daniel, P., Camelo, A.L., Yommi, A., 2009. Quality changes of highbush blueberries stored in CA with different CO₂ levels. *J. Food Sci.* 74. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01118.x>
- Falagán, N., Miclo, T., Terry, L.A., 2020. Graduated Controlled Atmosphere: A novel approach to increase “Duke” blueberry storage life. *Front. Plant Sci.* 11, 1-10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00221>
- Huynh, N.K., Wilson, M.D., Eyles, A., Stanley, R.A., 2019. Recent advances in postharvest technologies to extend the shelf life of blueberries (*Vaccinium sp.*), raspberries (*Rubus idaeus* L.) and blackberries (*Rubus sp.*). *J. Berry Res.* 9, 709-724. <https://doi.org/10.3233/JBR-190421>
- Jiang, Y., Yu, L., Hu, Y., Zhu, Z., Zhuang, C., Zhao, Y., Zhong, Y., 2019. Electrostatic spraying of chitosan coating with different deacetylation degree for strawberry preservation. *Int. J. Biol. Macromol.* 139, 1232-1238. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.113>

- Lehtonen, M., Kekäläinen, S., Nikkilä, I., Kilpeläinen, P., Tenkanen, M., Mikkonen, K.S., 2020. Active food packaging through controlled in situ production and release of hexanal. *Food Chem. X* 5, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100074>
- Peretto, G., Du, W.X., Avena-Bustillos, R.J., De J. Berrios, J., Sambo, P., McHugh, T.H., 2017. Electrostatic and Conventional Spraying of Alginate-Based Edible Coating with Natural Antimicrobials for Preserving Fresh Strawberry Quality. *Food Bioprocess Technol.* 10, 165-174. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1808-9>
- Rivera, S.A., Zoffoli, J.P., Latorre, B.A., 2013. Determination of optimal sulfur dioxide time and concentration product for postharvest control of gray mold of blueberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 83, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.007>
- Rodriguez, J., Zoffoli, J.P., 2016. Effect of sulfur dioxide and modified atmosphere packaging on blueberry postharvest quality. *Postharvest Biol. Technol.* 117, 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.008>
- Saito, S., Obenland, D., Xiao, C.L., 2020. Influence of sulfur dioxide-emitting polyethylene packaging on blueberry decay and quality during extended storage. *Postharvest Biol. Technol.* 160, 111045. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111045>
- Smrke, T., Weber, N.C., Veberic, R., Hudina, M., Jakopic, J., 2021. Modified atmospheric CO₂ levels for maintenance of fruit weight and nutritional quality upon long-term storage in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) 'Liberty.' *Horticulturae* 7, 1-16. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110478>
- Tobar-Bolaños, G., Casas-Forero, N., Orellana-Palma, P., Petzold, G., 2021. Blueberry juice: Bioactive compounds, health impact, and concentration technologies—A review. *J. Food Sci.* 86, 5062-5077. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15944>
- Toral, L., Rodríguez, M., Martínez-Checa, F., Montañó, A., Cortés-Delgado, A., Smolinska, A., Llamas, I., Sampedro, I., 2021. Identification of Volatile Organic Compounds in Extremophilic Bacteria and Their Effective Use in Biocontrol of Postharvest Fungal Phytopathogens. *Front. Microbiol.* 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.773092>

- Ulloa, P.A., Vidal, J., Lopéz de Dicastillo, C., Rodriguez, F., Guarda, A., Cruz, R.M.S., Galotto, M.J., 2019. Development of poly(lactic acid) films with propolis as a source of active compounds: Biodegradability, physical, and functional properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 136, 1-11. <https://doi.org/10.1002/app.47090>
- Børve, J., Stensvand, A. 2003. Use of a plastic rain shield reduces fruit decay and need for fungicides in sweet cherry. *Plant Dis.* 87:523-528.
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M.K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., Coma, V., 2018. Active packaging applications for food. *Comprehensive Rev. Food Sci. Food Saf.* 17, 165-199. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>

Capítulo 7

Enfermedades en postcosecha y su manejo preventivo

Rafael Galdames G.

Ingeniero Agrónomo, Dr.

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

La fruta es el producto final de la cadena del proceso productivo del arándano. Las actuales exigencias en la calidad de la fruta en los mercados internacionales, particularmente aquellos muy lejanos (Asia), donde la fruta debe mantener una buena condición por al menos 45 días antes de llegar al consumidor, exige implementar diversas medidas que minimicen el deterioro de las características deseables, las cuales de manera natural se van perdiendo progresivamente a través del tiempo.

Las pudriciones de postcosecha ocasionadas por hongos, representan uno de los principales factores en el deterioro de la calidad visible de la fruta. Sin embargo, varios de los hongos responsables y/o asociados a pudriciones pueden iniciar la infección en el huerto durante la floración y continuar hasta la madurez del fruto, y otros infectan o colonizan la fruta durante las labores de cosecha y/o almacenaje (**Cuadro 7.1**).

La participación de cada uno de estos hongos es variable a través de los años, y está condicionada tanto a factores ambientales (precipitaciones, humedad relativa, agua libre) así como al manejo particular del huerto (sanitario, variedades, densidad de plantación, fertilización, etc.) y de todas las etapas posteriores a la cosecha (manipulación de la fruta, cadena de frío, etc). Independiente de lo anterior, la pudrición gris causada por *Botrytis cinerea* sigue siendo lejos, tanto en pre como en postcosecha, el hongo más frecuente y el que causa los daños más severos en la fruta y en consecuencia representa la principal causa de rechazo.

Cuadro 7.1. Hongos asociados a pudriciones de fruto en arándano, su participación y/o importancia durante la pre y postcosecha.

Agente infeccioso ¹	Enfermedad/ Principales síntomas	Importancia ²	
		Precosecha	Postcosecha
<i>Alternaria alternata</i> , <i>Alternaria sp.</i>	Pudrición negra/ Moho verde oscuro	•	•
<i>Aspergillus sp.</i>	Aspergilosis		•
<i>Botrytis cinerea</i>	Tizón de la flor /Pudrición gris	• • •	• • •
<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sp.</i>	Pudrición verde olivácea		• •
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>C. fiorinae</i>	Antracnosis	•	•
<i>Epicoccum nigrum</i> , <i>Epicoccum sp.</i>			•
<i>Fusarium sp.</i>	Pudrición		•
<i>Hainesia lytri</i>	Deshidratados de frutos		•
<i>Penicillium spp.</i>	Pudrición verde /Moho azul verdoso		•
<i>Phomopsis vaccinii</i>	Deshidratados de frutos	•	•
<i>Stemphylium botryosum</i>	Pudrición oliva		•
<i>Rhizopus stolonifer</i>	Pudrición blanda/ Pudrición café		• •
<i>Mucor hiemallis</i> , <i>Mucor sp.</i>	Pudrición blanda		•
Levaduras	Pudrición blanda		•

¹ Fuente: (Acuña, 2021; France, 2012 y Castro, 2022).

² Importancia relativa. • • • =Alta; • • = Media; • = Baja

7.1. *Botrytis cinerea*: características generales, ciclo de vida y sintomatología

7.1.1. Características generales

Varias características de este hongo explican su éxito como patógeno y en consecuencia su importancia económica. (i) tiene la capacidad de infectar un amplio rango de hospederos, dentro de los que se incluyen numerosas especies cultivables (frutales, hortalizas, ornamentales y cultivos anuales), silvestres y malezas. (ii) es un hongo necrotrófico, es decir después de infectar y matar el tejido de la planta huésped puede sobrevivir y esporular como saprófito sobre el tejido necrosado, incluso producir estructuras de sobrevivencia (esclerocios) y (iii) lo anterior determina su alta capacidad de dispersión, colonización, persistencia en diferentes sustratos (tejidos verdes, en descomposición y residuos de cosecha) y adaptabilidad a un amplio rango de condiciones ambientales.

7.1.2 Ciclo de vida

El hongo sobrevive el invierno como esclerocios y posiblemente como micelio. Al germinar los esclerocios en primavera se producen abundantes esporas (conidias), las que constituyen la principal fuente de inóculo y que puede provenir de restos vegetales y/o tejido en descomposición de las mismas plantas dentro del huerto o de su alrededor. Las conidias son diseminadas principalmente por el viento, y secundariamente por el golpeteo producido por las gotas de lluvia e insectos. Las infecciones se inician en las flores y posteriormente los restos florales esporulados diseminarán las esporas a otras flores y/o frutos recién cuajados y hasta aquellos maduros (**Figura 7.1**). Temperaturas de 0-30 °C y lluvias (alta humedad y agua libre) permiten la germinación de las conidias y favorece el proceso de infección. Si las condiciones ambientales no son favorables, las conidias depositadas en las flores y frutos permanecen latentes o quiescentes. Durante el invierno el micelio del hongo se agrega, compacta y melaniza, dando origen a nuevos esclerocios los que se pueden desarrollar en los frutos o en las cañas de las plantas.

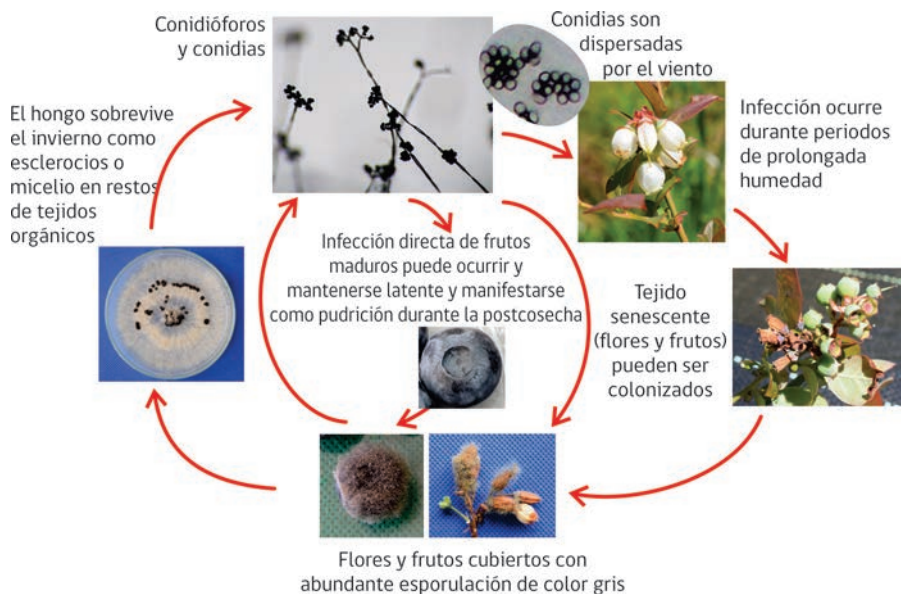


Figura 7.1. Ciclo de vida de *Botrytis cinerea*, agente causal de la pudrición gris en arándano.

7.1.3. Sintomatología

En el huerto los síntomas se pueden observar en flores, ramillas, brotes, hojas y ocasionalmente en frutos (**Figura 7.2**). En las flores el hongo produce típicamente un atizonamiento o lesiones necróticas, inicialmente parciales o localizadas y en la medida que avanzan pueden comprometer todo el racimo floral. En frutos,



Figura 7.2. La infección por *Botrytis* en precosecha se puede observar tempranamente en el huerto durante la floración, causando atizonamiento de la flor, esporulación del hongo en flores individuales o llegando a comprometer parcial o completamente el racimo floral.

se puede detectar necrosis cuando quedan restos florales adheridos. En frutos maduros y posterior a la cosecha los síntomas alcanzan su máxima expresión, y van desde ablandamiento, opacidad, liberación de jugo, deshidratación y desarrollo de micelio (**Figura 7.3**).



Figura 7.3. Frutos donde se rompió la cadena de frío después de 30 días de almacenamiento, lográndose observar el deterioro progresivo de la fruta asociado a hongos (*Botrytis* y otros) responsables de causar pudriciones, donde se aprecia abundante desarrollo de micelio, ablandamiento de la fruta y liberación de jugo.

7.2. Estrategias de control y prevención: prácticas culturales, empleo de fungicidas y opciones alternativas de control

La estrategia para el control de *Botrytis* debe integrar varias medidas, algunas de las cuales se deben tomar incluso durante la plantación y otras fundamentalmente orientadas a minimizar su incidencia durante los periodos más críticos en precosecha y posteriormente durante la cosecha, almacenaje y transporte.

7.2.1. Prácticas culturales

Durante la plantación, idealmente seleccionar variedades menos susceptibles, y posteriormente emplear buenas prácticas culturales, como: evitar el exceso de fertilización nitrogenada, altas densidades de plantas, y variedades de floración prolongada. Es muy recomendado podar para eliminar las ramas muertas, dañadas o enfermas, lo que además ayudara a una mejor penetración de la luz y mojamiento al aplicar pesticidas. Medidas adicionales como el empleo de cortinas cortavientos, control de heladas y adecuado manejo del riego, también contribuyen o minimizan el riesgo de infección.

7.2.2. Estrategias químicas y/o biológicas de control durante la precosecha

En general, siempre es recomendado previo al uso de productos de acción fungicida, confirmar o identificar la enfermedad presente, de tal forma de emplear el producto adecuado de acuerdo a lo indicado en su etiqueta. Particularmente para *Botrytis* al tratarse de una enfermedad endémica, la decisión del momento de aplicación se basa o combina dos criterios: (i) los periodos críticos o de mayor susceptibilidad a la infección, los cuales se extienden desde la floración hasta la maduración de frutos y (ii) las condiciones ambientales que más predisponen a la infección, siendo la temperatura óptima cercana a 20 °C con presencia de agua libre.

En Chile existen numerosos productos comerciales (~ 60) de acción botriticida para arándanos con registro vigente (SAG, 2022); siendo mayoritariamente fungicidas de síntesis química y, de más reciente incorporación, productos biológicos y otros derivados de extractos de plantas. Por su efectividad los fungicidas tradicionales siguen siendo los más empleados, sin embargo, al tratarse de mercados internacionales las opciones se reducen significativamente. Por otra parte, la elección del fungicida y su adecuado uso dentro del programas de aplicaciones, es crítico para que esta estrategia siga siendo efectiva en consideración a que *Botrytis* como patógeno presenta alto riesgo a desarrollar resistencia a ciertos fungicidas con la consecuente pérdida de vida útil o de efectividad de los tratamientos químicos (**Cuadros 7.2 y 7.3**). Para reducir el riesgo de desarrollo de resistencia tres medidas son recomendadas: (i) No realizar más de dos aplicaciones de moléculas con el mismo código FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) por temporada, (ii) no hacer dos aplicaciones consecutivas de un fungicida con el mismo código FRAC y, (iii) rotar con fungicidas de distintos códigos FRAC.

Cuadro 7.2. Características (modo de acción, efectividad relativa, días de protección, residualidad) y oportunidad de uso de algunos bottriticidas con registro vigente en Chile.

Ingrediente activo	Sistémico (S) o Contacto (C)		Protección		Epoca aplicación		Código FRAC	Riesgo de Resistencia
	Efectividad	(días)	Residualidad					
Extractos cítricos	C	•	5 a 7	•		M F	BM 01	?
Extractos de plantas	C	•	5 a 7	•		M F	BM 01	?
Cítricos + Cobre	C	•	5 a 7	•		M F	M 01	Bajo
Oxido cuproso	C	•	7	•	I		M 01	Bajo
Hidróxido de cobre	C	•	7	•	I		M 01	Bajo
Sulfato de cobre	C	•	7	••	I	M	M 01	Bajo
Hongos (<i>Trichoderma</i>)	C	•(•)	3 a 7	•		M	BM 02	?
Bacteria (<i>Bacillus</i>)	C	•(•)	3 a 7	•		M	BM 02	?
Captan	C	••	7	•	I	M F	M 04	Bajo
Fenbuconazole	S	••	12 a 14	•••	I		3	Media
Fludioxonil	C	••	7 a 10	••		M F	12	Bajo-Medio
Fenhexamid	C	•••	12 a 14	•		F	17	Bajo-Medio
Iprodione	S	•••	12 a 14	•••	I		2	Medio-Alto
Pyraclostrobin	S	•••	12 a 14	•	I	M	11	Alto
Boscalid	S	•••	12 a 14	••	I	M F	7	Medio-Alto
Cyprodinil	S	•••	12 a 14	••		M F	9	Media

² Efectividad / Residualidad relativa aproximada . •••= Alta; ••= Media; •= Baja.

Inflorescencia: I: Inicio; M: Media y F: Final.

?: Desconocida.

Cuadro 7.3. Fungicidas permitidos en arándano para 4 mercados de destino, con sus límites máximos de residuos (LMR en ppm) y carencias (días de la aplicación al consumo).

	USA		Unión Europea		China		Japón	
	ppm	días	ppm	días	ppm	días	ppm	días
AZOXYSTROBIN	5	3	5	3	5	3	5	3
BOSCALID	13	6	15	3	10	6	10	6
CAPTAN	20	5	30	3	20	5	20	5
CHLOROTHALONIL	1	18	0,01	40	ST	ND	1	18
CYPRODINIL	3	3	3	3	10	3	5	3
DIFENOCONAZOLE	4	ND	4	ND	ST	ND	4	ND
FENBUCONAZOLE	0,3	20	0,5	10	0,5	10	0,7	20
FENHEXAMID	5	3	20	3	5	3	5	3
FLUAZINAM	7	ND	3	ND	ST	ND	4	ND
FLUDIOXONIL	2	3	2	3	2	3	2	3
FLUOPYRAM	7	ND	7	ND	ST	ND	7	ND
FOSETHYL - AL	40	ND	80	ND	ST	ND	70	ND
IPRODIONE	15	5	0,01	ND	ST	ND	15	5
ISOFETAMID	5	ND	0,01	ND	ST	ND	5	ND
MEPANIPYRIM	ST	ND	0,01	ND	ST	ND	0,01	ND
METALAXYL	2	15	0,01	ND	ST	ND	2	ND
PYRACLOSTROBIN	4	3	4	3	4	3	4	3
PYRIMETHANIL	8	ND	8	ND	3	ND	5	ND

Fuente: 1. Agenda de pesticidas ASOEX 2020 (última actualización: 12/07/2020).
ST: Sin Tolerancia; ND: No Determinada

7.2.3. Control en postcosecha

En cuanto a niveles de incidencia o pérdida de producto en postcosecha, la aparición de pudriciones varía de acuerdo con la zona productiva, manejo agronómico, período de tránsito a destino, tecnología de embalaje y condiciones climáticas de la temporada. Al valorar las pérdidas, se estima que un 10 a 50% ocurre por presencia de pudriciones ocasionadas por *B. cinerea*, el resto de los rechazos son ocasionados por deshidratación y fruta blanda. Actualmente, los métodos tradicionales para el control de *Botrytis*, se dividen en dos: (i) en precosecha, de acuerdo a lo ya planteado, y (ii) en condiciones de postcosecha, donde el control es abordado mediante la gasificación y uso de generadores y film con la emisión de anhídrido sulfuroso (SO_2), y con el efecto fungistático que genera el uso de atmósferas controladas durante tránsito, ya comentado este último punto en el Capítulo 6. Aunque el SO_2 posee un buen sistema de control, en el último tiempo ha surgido la necesidad en buscar nuevas estrategias de control de pudriciones, mediante técnicas más naturales, inocuas y amigables con el medio ambiente.

El anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, irritante y corrosivo, proveniente de la combustión del azufre y ha sido usado por más de 80 años principalmente en la industria de la uva de mesa para el control de la pudrición gris de postcosecha. En base a esto, es que en arándanos también se han considerado dos metodologías diferentes de tratamiento con SO_2 . La primera estrategia se relaciona con la efectividad de anhídrido sulfuroso para eliminar las conidias de *B. cinerea* (inóculo) presentes en la superficie del fruto por medio de una gasificación con una concentración y tiempo de exposición conocida (Cantín *et al.*, 2012; Huynh *et al.*, 2019). Normalmente esta aplicación se realiza inmediatamente después de la cosecha con fruta a granel y en condiciones de temperatura ambiente (20-25 °C), teniendo una duración en promedio de 20-30 minutos. Bajo estas condiciones Rivera *et al.* (2012) evaluó la concentración-tiempo (CT) efectividad para el control de la pudrición gris de postcosecha, estableciendo un valor de 200-300 ppm-h; permitiendo asegurar sobre un 90% de efectividad en el control. Al igual que en la uva de mesa los productores y exportadoras de arándanos, se encuentran adaptando su infraestructura y logística de operación para estandarizar y optimizar el uso de anhídrido sulfuroso en el proceso rutinario luego de cosecha. Dentro de los

principales factores que se deben poner especial atención, es la infraestructura para el proceso de gasificación. Considerando que para ser exitosos en este proceso, se hace necesario contar con una cámara hermética de volumen conocido equipada con sistema de inyección y de evacuación de SO_2 . Importante a la hora de diseñar una cámara de gasificación, no sub o sobreestimar el tamaño de estas; ya que es importante conocer los volúmenes de fruta que se gasifican de manera simultánea durante la temporada. Para el cálculo de la CT de SO_2 necesaria, se debe considerar el producto entre la concentración de SO_2 y el tiempo de exposición a dicha concentración. Por ejemplo, para poder obtener una CT de 200 ppm-h, el tratamiento puede realizarse utilizando una concentración de 200 ppm por hora o una concentración constante de 400 ppm por sólo 30 minutos. En esta línea, siempre es recomendable revisar la concentración-tiempo de SO_2 durante el proceso de gasificación, y para esto existen varios proveedores de tubos de detección pasiva de SO_2 , más la disponibilidad de nuevos equipos que entregan una mayor precisión.

Para la segunda metodología, mencionada ya en envases activos, corresponde al uso de generadores de mantención y se relaciona con el efecto que tienen bajas concentraciones constantes de SO_2 (ej. 2-10 ppm) sobre el avance de la enfermedad entre frutos enfermos y sanos durante el almacenaje postcosecha. Diversos estudios han demostrado para el caso de uva de mesa, que concentraciones pequeñas y constantes (2-3 ppm) no disminuyen considerablemente la germinación de conidias de *B. cinerea* y su posterior inicio de infección, pero sí detienen la expresión de nidos de pudrición gris por avance de la enfermedad entre frutos enfermos y sanos que (Paluo *et al.*, 2002). Para este objetivo se utilizan láminas de metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) que permiten la liberación de anhídrido sulfuroso en ambiente de alta humedad y al interior de la caja de fruta (normalmente acompañado de una bolsa perforada o de atmósfera modificada) (Saito *et al.*, 2020). El uso excesivo de anhídrido sulfuroso en arándanos puede generar sintomatologías al mal uso de SO_2 , relacionando la toxicidad a nivel de la herida pedicelar en el fruto. Estos síntomas se describen como un ensanchamiento y cambio de color de la cavidad pedicelar.

En condiciones de mayor severidad se puede percibir ablandamiento del fruto y los síntomas pueden comprometer la pulpa observándose cambio de color en las zonas adyacentes a la cavidad pedicelar. Como se comentó anteriormente la liberación de anhídrido sulfuroso se activa en función de la humedad relativa en el ambiente; por lo tanto, cambios bruscos de temperatura pueden generar condiciones de agua libre generando liberaciones excesivas de SO_2 que pueden ocasionar los síntomas descritos.

Respecto a otras tecnologías, como ya se explicó en el Capítulo 6, el uso de altos niveles de CO₂ y bajos de O₂ durante el tránsito a destino en contenedores, es quizás una de las primeras tecnologías utilizadas para complementar la cadena de frío, y que fue desarrollada principalmente en berries para el control de pudriciones. Sus beneficios son bien conocidos e incluyen la disminución del metabolismo de la fruta, y sobre todo cuando se utiliza con los niveles adecuados, teniendo un efecto fungistático. Esta tecnología así como el uso de tecnologías emergentes para el control de pudriciones están descritas en el Capítulo 6 de este Boletín.

7.3. Referencias

- Acuña, R., 2010. Compendio de Bacterias y Hongos de Frutales y Vides. Servicio Agrícola y Ganadero. 150 pp.
- Cantin, C., Minas, I. S., Goulas, V., Jiménez, M., Manganaris, G. A., Michailides, T. Crisosto, C. H., 2012. Sulfur dioxide fumigation alone or in combination with CO₂-enriched atmosphere extends the market life of highbush blueberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 67: 84-91. DOI: 10.1016/J.Postharvbio.2011.12.006.
- Castro, J.F., Millas, P., Cisterna-Oyarce, V., Carrasco, J., Santelices, C., Muñoz-Reyes, V., Guerra, M., Barra-Bucarei, L., France, A. (2022). First report of *Colletotrichum fioriniae* causing anthracnose fruit rot on *Vaccinium corymbosum* in Chile. *Plant Disease*, 0 0: ja.
- Defilippi, B., Robledo, P. y Becerra, C. Cosecha y Postcosecha. 2017. En: Morales A., C. G. (ed.). Manual de manejo agronómico del arándano [en línea]. Villa Alegre, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias 371. (Consultado: 14 noviembre 2022).
- Elad, Y., Pertot, I., Cotes Prado, A.M., Stewart, A., 2016. Plant Hosts of *Botrytis spp.*. In: Fillinger, S., Elad, Y. (eds) *Botrytis - the fungus, the pathogen and its management in agricultural systems*. Springer, Cham.
- FRAC Code List 2022. Fungal control agents sorted by cross resistance pattern and mode of action. Fungicide Resistance Action Committee. Consultado: noviembre 2022 de <https://www.frac.info/>

- France, A., 2012. Enfermedades de post cosecha en arándanos: reconocimiento y manejo. Revista frutícola N° 3. pp: 29-34
- González, A. 2017. Adaptación de la metodología cropcheck para el cultivo de arándanos en el Sur de Chile. Temuco, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N° 346.
- Huynh, N., Wilson, M.D., Eyles, A., Stanley, R.A., 2019. Recent advances in postharvest technologies to extend the shelf life of blueberries (*Vaccinium sp.*), raspberries (*Rubus idaeus* L.) and blackberries (*Rubus sp.*). Journal of Berry Research 9, 687-707. doi: 10.3233/JBR-200695
- Latorre, B., 2002. Efecto de la temperatura en el desarrollo de la infección producida por *Botrytis cinerea* en flores y bayas de uva de mesa. Cien. Inv. Agr. 29, 145-151.
- Latorre, B., 2002. Efecto de la temperatura y de la humedad relativa sobre la germinación de conidias de *Botrytis cinerea*. Cien. Inv. Agr. 29: 67-72.
- Palou, L., Crisosto, C., Smilanick, J., Adaskaveg, J., Zoffoli, J.P., 2002. Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. Postharvest Biology and Technology 24, 39-48. doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00118-1
- Rivera, S.A., Zoffoli, J.P., Latorre, B., 2012. Determination of optimal sulfur dioxide time and concentration product for postharvest controls of gray mold of blueberry fruit. Postharvest Biology and Technology 83, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.007>
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), 2022. Lista de plaguicidas con autorización vigente. Consultado: 28 septiembre 2022 de <https://www.sag.cl>
- Saito, S., Obenland, D., Xiao, C.L., 2020. Influence of sulfur dioxide-emitting polyethylene packaging on blueberry decay and quality during extended storage. Postharvest Biology and Technology 160, 111045. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111045>



Boletín INIA / N°477
www.inia.cl



ISBN: 978-956-7016-57-0



9 789567 101657 0