

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 pre cosecha/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).*

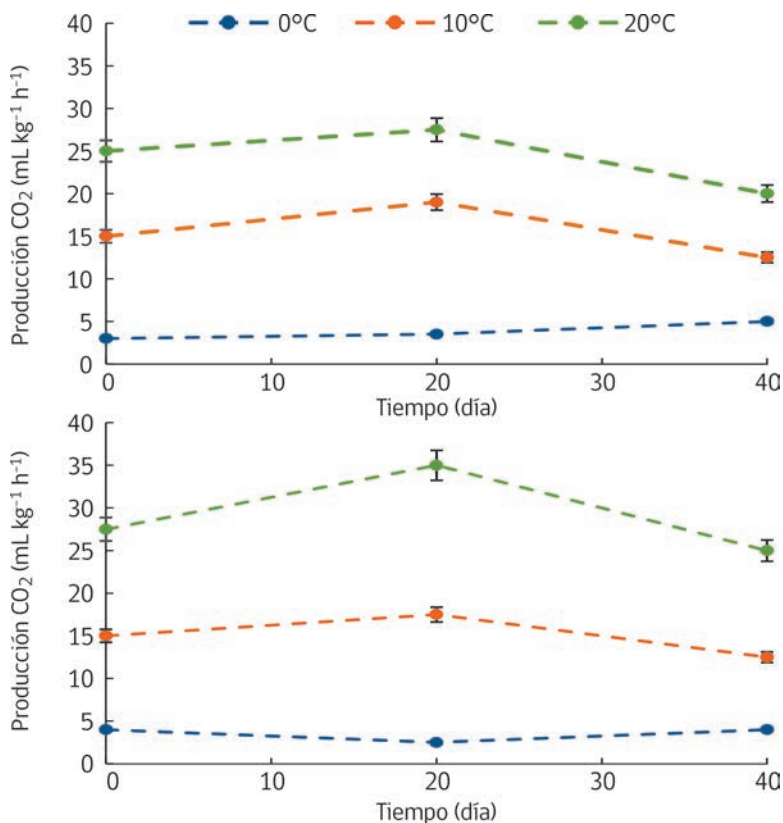


Figura 1.1. Tasa respiratoria en arándano cvs Legacy y Top Shelf. Al inicio de almacenamiento, y a los 20 y 40 d a 0 °C, se midió la tasa respiratoria a 0, 10 y 20 °C. Fuente: Unidad de Postcosecha, INIA.

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

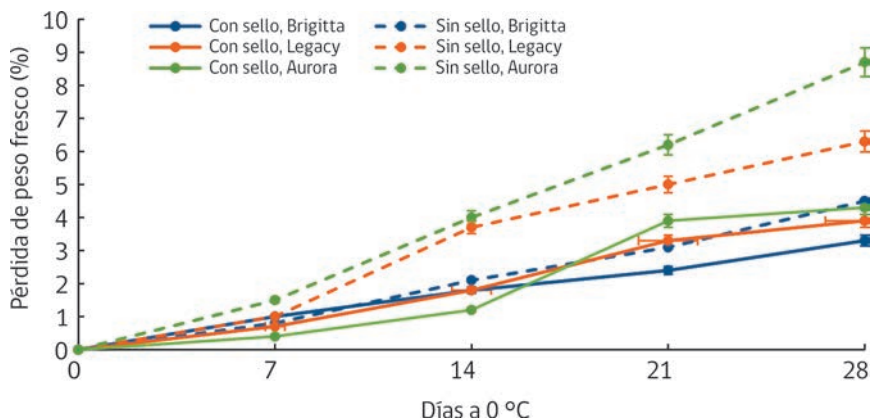


Figura 1.2. Pérdida de peso en tres variedades de arándano durante almacenamiento a 0 °C. Líneas continuas muestran la pérdida de agua (%) en frutos, en los cuales la herida pedicelar se selló al momento de la cosecha. Las líneas discontinuas corresponden a frutos con herida pedicelar sin intervención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