

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 O₂ y CO₂ 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 (Rodríguez & 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**).

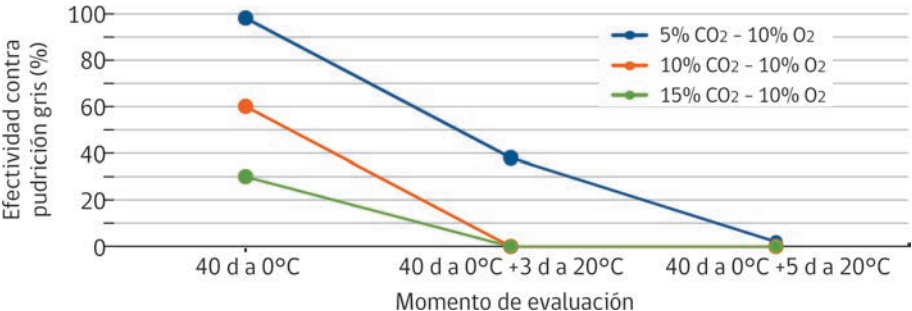


Figura 6.2. Efectividad de distintos niveles de CO_2 (5, 10 y 15%) en el crecimiento de *Botrytis cinerea* en arándano durante almacenamiento por 40 d a 0 °C, y luego expuesta por 3 y 5 d a 20 °C. Fuente: Unidad de Postcosecha, INIA.

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.

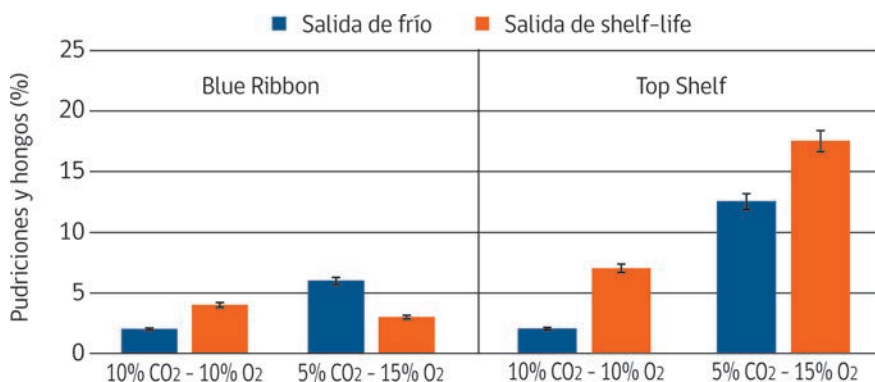


Figura 6.3. Incidencia de pudrición gris (%) en arándano cvs. Blue Ribbon y Top Shelf almacenados por 40 días a 0 °C en atmósfera controlada con 10%CO₂ - 10%O₂ y 5%CO₂ - 15%O₂. Se presentan los resultados a salida de almacenamiento y luego de un período de 3 días a 20 °C (shelf-life). Fuente: Unidad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

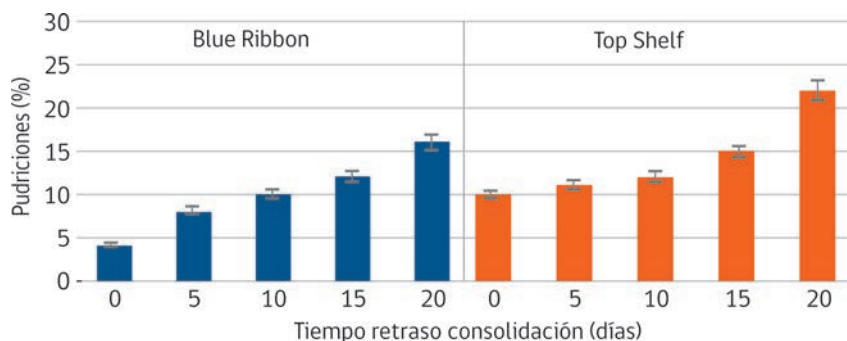
para disminuir la pérdida de peso por transpiración (Capítulo 1), lo cual puede tener efectos negativos al no garantizar una firmeza adecuada de los arándanos, sobre todo en envíos distantes. Para complementar el uso de AC se utilizan envases (bolsas a nivel de caja o pallet) de un nivel de ventilación 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.

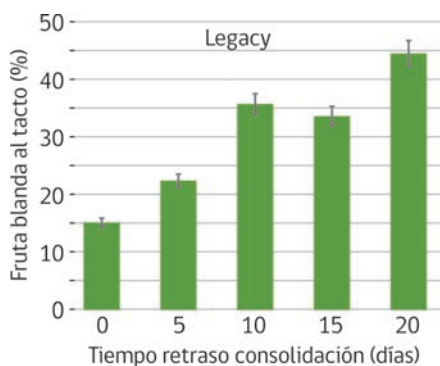


Figura 6.5. Incidencia de fruta blanda, luego de 30 días de tránsito en arándano Legacy, en función de los días de retraso de consolidación de contenedor.

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.

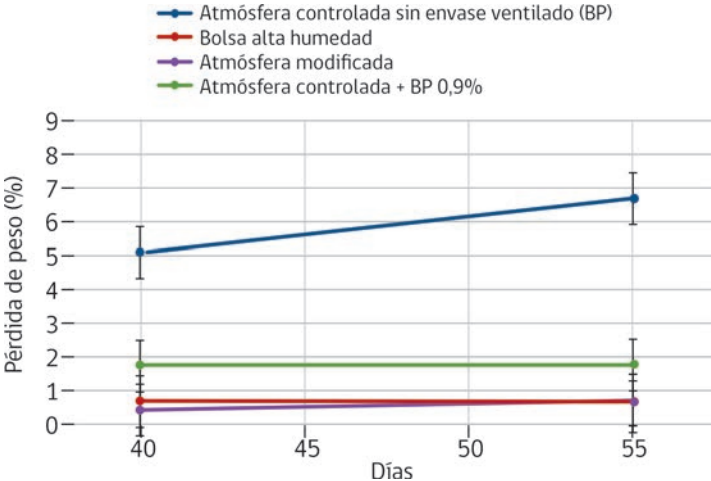


Figura 6.6. Efecto de atmósfera controlada y envase de atmósfera modificada en la pérdida de peso en arándano, variedad Blue Ribbon. Se observa que el uso de materiales de baja permeabilidad a vapor de agua permiten reducir las pérdidas de peso. BP = envase ventilado.

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.

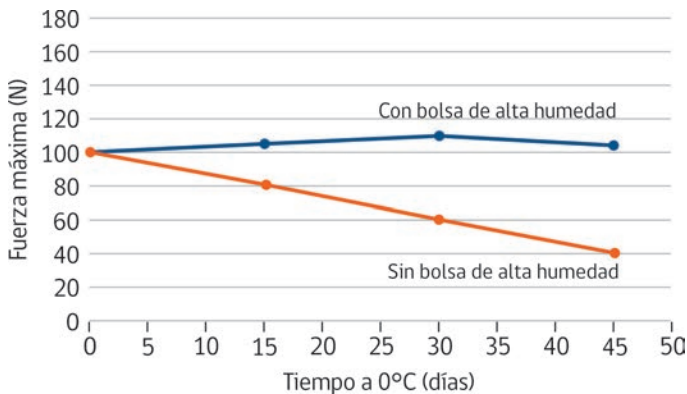


Figura 6.7. Efecto benéfico de la atmósfera modificada en mantener la firmeza del arándano en la variedad Duke (línea azul). La mayor humedad relativa al interior del envase, con la reducción del DPV, permite mantener los niveles de deshidratación inferior a 1%. Un arándano sin envase AM (sin bolsa) 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-

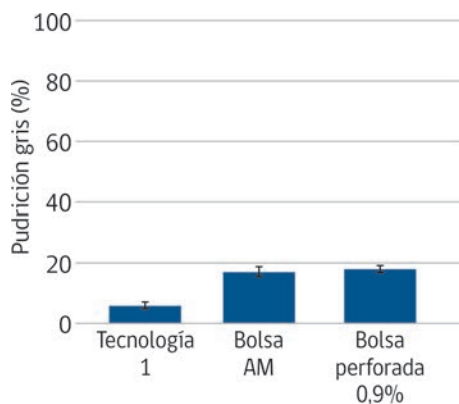


Figura 6.8. Incidencia de pudrición (%) luego de almacenamiento en arándano almacenados con (i) envase de atmósfera modificada, y activo en control de pudriciones (tecnología 1), (ii) atmósfera modificada (AM) y (iii) envase de alta ventilación (bolsa perforada, 0,9%). La fruta no fue gasificada con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