

CAPÍTULO 5

ASPECTOS CLAVES DURANTE POSCOSECHA PARA LA OBTENCIÓN DE UN ARÁNDANO DE CALIDAD

Autores: Bruno Defilippi Bruzzone, Sebastián Rivera Smith y Rocío Arriola Santibañez
Unidad de Poscosecha, Centro Regional INIA La Platina

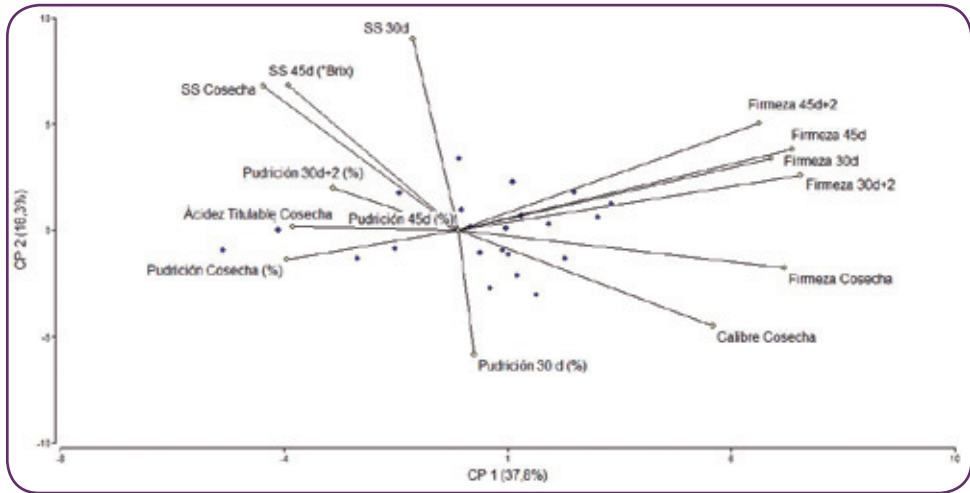
Dentro de la cadena de manejo para la producción de arándano, la etapa de poscosecha de la fruta constituye un punto clave para llegar al consumidor con una fruta de calidad. Calidad definida por una serie de factores como son color, firmeza, ausencia de daños, balance dulzor/acidez y aroma. Existe una gran gama de variedades que hoy son cultivadas a nivel comercial las cuales se pueden diferenciar en muchos aspectos, incluyendo hábito de crecimiento, fecha de producción, sabor, entre otros. Además, es importante considerar que el comportamiento en poscosecha puede ser diferente entre variedades, ya que éstas pueden presentar un metabolismo distinto en lo que dice relación con la respiración y producción de etileno, susceptibilidad a pudriciones; firmeza a la cosecha y poscosecha; relación azúcar/ácidos, otros. Sin embargo, existe un punto común para todas ellas, y es que se caracterizan por ser muy perecibles después de cosecha. De las principales causas de deterioro en arándano están: pudriciones, deshidratación, pérdida de firmeza, pérdida de apariencia, desarrollo de desórdenes y calidad sensorial.

En este capítulo se presenta un resumen de los resultados provenientes tanto del proyecto Cropcheck, orientado a identificar factores de precosecha que influyen en los atributos de calidad en arándano durante postcosecha, así como del extenso trabajo que ha desarrollado la Unidad de Poscosecha de INIA para entender los beneficios e implementación de las principales tecnologías de poscosecha utilizadas a la fecha en la exportación de arándano.

5.1. Firmeza, su relación con variables de cosecha y poscosecha y uso de envases

Se analizó la influencia de parámetros de precosecha y poscosecha sobre la firmeza de arándano utilizando la información generada en el proyecto Cropcheck, detallada en los capítulos anteriores. Para despejar las variables con mayor influencia sobre esta característica se realizó un análisis de componentes principales (PCA), seguido por un análisis de correlación de Pearson para determinar las variables con efecto significativo sobre firmeza. El análisis estadístico fue realizado en R, utilizando el software estadístico Infostat. En el Gráfico 17, se muestra el análisis de componentes principales, donde es posible observar que los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2 en la figura) explican un 56,1% de la variabilidad de los datos. Desde este análisis fue posible

observar el grado de relación que tiene la firmeza determinada durante almacenaje con otros parámetros o variables a cosecha o durante poscosecha. Se observó una relación positiva entre la firmeza de poscosecha y la firmeza a cosecha y el calibre de la fruta. Contrariamente se observan relaciones negativas entre la firmeza en poscosecha y la concentración de sólidos solubles totales y la acidez titulable a cosecha. Por ejemplo, esto significa que mayor nivel de sólidos solubles a cosecha se relaciona con una menor firmeza en poscosecha.



Gráfica 17. Análisis de componentes principales, evaluando la relación entre firmeza y otros atributos de calidad de los frutos a cosecha.

Como se observa en el Gráfico 17, la correlación es positiva y significativa ($p < 0,05$) entre la firmeza de los frutos a cosecha con la firmeza evaluada en distintos períodos de poscosecha. Por lo tanto, en fruta que es firme a cosecha hay una alta la probabilidad de que mantenga su condición de firmeza a los 30 y 45 días de viaje. Sin embargo, es importante indicar que en arándanos la pérdida de firmeza en poscosecha ha sido atribuida principalmente a la pérdida de peso fresco del fruto. En esta línea Paniagua et al. (2013) observaron una relación significativa y negativa entre la pérdida de peso fresco y la firmeza durante el almacenaje a 0°C, estableciendo un valor umbral de 1,0% de pérdida de peso fresco para generar pérdida de firmeza en la fruta. Por lo tanto, en fruta con más de 2% de pérdida de peso es muy probable que su firmeza se vea afectada de manera negativa. Con este valor umbral en consideración, el uso de bolsas (perforadas o modificadas) en la industria de arándanos ha mostrado grandes beneficios en disminuir la pérdida de peso fresco del fruto y con esto se ha vuelto una exigencia actual en el proceso de embalaje de la fruta. Actualmente se ofrecen en el mercado diferentes alternativas de envases (bolsas), los cuales pueden variar considerablemente en sus atributos (Cuadro 69).

Cuadro 69. Análisis de correlación entre la firmeza de los frutos en distintos períodos de poscosecha.

| Variable(1) | Variable(2) | n | Pearson | p-valor |
|-------------------|---------------|----|---------|---------|
| Firmeza a cosecha | Firmeza 30d | 25 | 0,63 | 0,0008 |
| | Firmeza 30d+2 | 25 | 0,68 | 0,0002 |
| | Firmeza 45d | 25 | 0,52 | 0,008 |
| | Firmeza 45d+2 | 25 | 0,54 | 0,0057 |

Valores $p < 0,05$ representan diferencias estadísticas significativas.

Cuando no existen estrategias de protección ante la pérdida de agua desde el fruto, el arándano pierde aproximadamente entre un 6-8% de su peso fresco desde cosecha hasta el final de almacenamiento (30-40 días). Bajo este escenario se han podido observar importantes síntomas de deshidratación visual y el consecuente aumento del ablandamiento del fruto al final del período de almacenaje. El uso de medidas de protección como bolsas de atmósfera modificada, alta humedad y perforadas han permitido minimizar la pérdida de peso del fruto a valores inferiores al 3% e incluso inferiores al 1%, en función del área ventilada de la bolsa, reduciendo de esta manera los síntomas de deshidratación (visual y ablandamiento). Asimismo, incluir bolsas en el sistema de embalaje de arándanos, permitiría reducir el peso extra agregado en cada pocillo de fruto para cumplir con el estándar de peso rotulado en el embalaje.



Cuadro 70. Tipos de envases disponibles comercialmente en Chile para arándanos

| Tipo de envase | Fabricantes | Uso/beneficios | Riesgos | Recomendaciones |
|---|--|---|--|--|
| Atmósfera modificada (MAP) | S.J.P. (Chile) PacLife (Chile) ViewFresh (EUA) StePac (Israel) Perfotec (Holanda) Amcor (Australia) | Disminución pérdida de peso fresco. Retención de la firmeza del fruto. Control de hongos y pudriciones. | Mal control de pudriciones con niveles de CO ₂ < 6%. Exceso de condensación y daños por toxicidad (ablandamiento, mal gusto) con mal manejo de la temperatura. | Solamente son recomendadas cuando se puede tener un óptimo manejo de la cadena de frío. |
| Bolsas de alta humedad | S.J.P. ViewFresh | Disminución pérdida de peso fresco. Retención de la firmeza del fruto. | Exceso de condensación con mal manejo de la temperatura. | Solamente son recomendadas cuando se puede tener un óptimo manejo de la cadena de frío. |
| Bolsas perforadas, microperforadas. | Varios proveedores | Disminución pérdida de peso y retención de la firmeza del fruto en función del área ventilada. | A mayor área ventilada menor efecto en la pérdida de peso y retención de la firmeza, pero menor riesgo de condensación. | |
| Berry Guard (Bolsa perforada 0,2% + generador de SO ₂) | Osku (Chile) | Disminución pérdida de peso fresco. Control pudriciones y hongos. | Daños por exceso de SO ₂ (toxicidad en el fruto, ablandamiento) ante un mal manejo de la temperatura | Se debe tener un buen control de la temperatura de almacenaje (evitar quiebres de frío). |
| SmartPac (Envase AM-liberador SO ₂) | Quimas (Chile) | Disminución pérdida de peso fresco. Control pudriciones y hongos. | Daños por exceso de SO ₂ ante un mal manejo de la temperatura. | Se debe tener un buen control de la temperatura de almacenaje (evitar quiebres de frío). |



En la Unidad de Poscosecha INIA La Platina se determinó el efecto del uso de bolsas de alta humedad traslapada (sin modificar la concentración de CO₂ y O₂ ambiental) sobre la evolución de la firmeza en arándanos Duke y Legacy obtenidos de un huerto comercial en Nancagua. Como se observa en la Figura 8, para la variedad Duke el uso de bolsa de alta humedad permitió reducir considerablemente la tasa de pérdida de peso fresco durante el almacenaje, con una pérdida de peso luego de 45 días de 0,8% para fruta almacenada en bolsa y de 12,7% para fruta sin protección adicional a la pérdida de agua. Este comportamiento se relacionó con una baja tasa de pérdida de firmeza durante el almacenaje para el caso de fruta con bolsa y una mayor pérdida de firmeza en fruta sin bolsa. Estos resultados permiten corroborar las observaciones publicadas por Paniagua *et al.* (2013). Para el caso de Legacy se observó un comportamiento similar. Sin embargo, en comparación a Duke, los resultados describen una mayor tolerancia a la pérdida de firmeza, la cual comenzó luego de 15 días de almacenaje; asimismo la tasa de pérdida de peso fresco fue superior en Duke, considerando fruta sin bolsa.

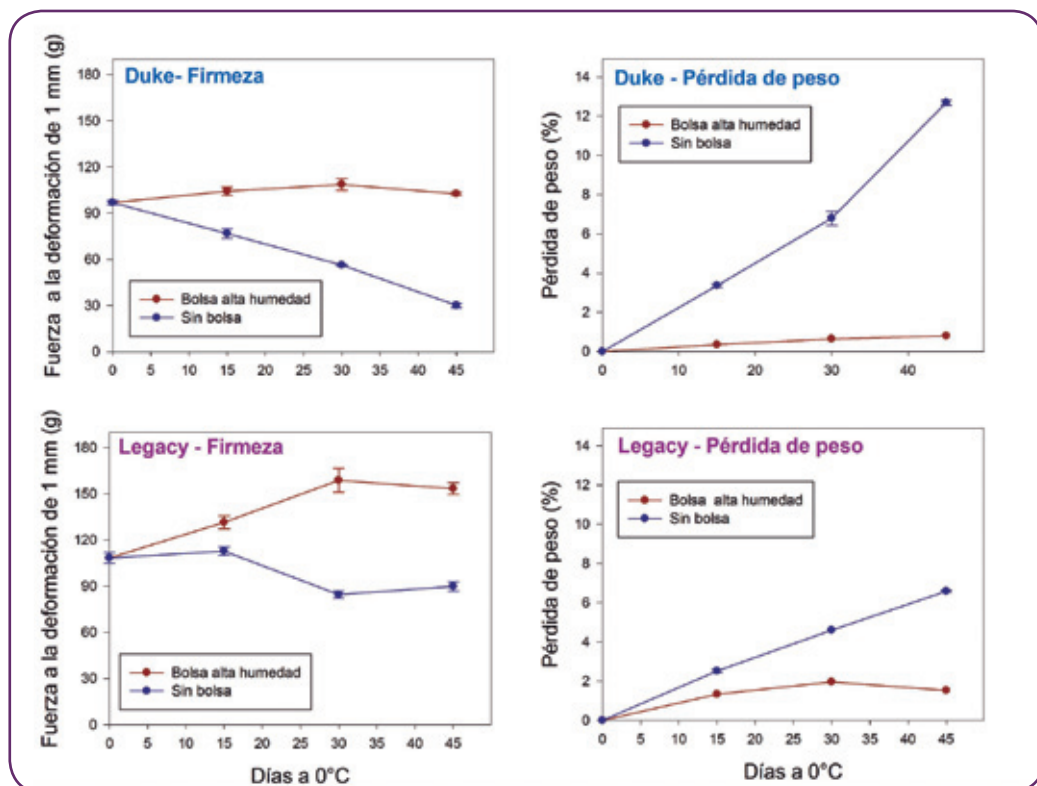


Figura 8. Fuerza máxima a la deformación de un 10% del fruto (g) determinada con un equipo texturómetro y pérdida de peso fresco (%) luego de 0, 15, 30 y 45 días a 0°C, en arándanos Duke y Legacy cultivados en Nancagua, Chile.

Por otro lado, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes tipos de envases y tecnologías, sobre la pérdida de agua, se almacenaron arándanos Brigitta, Powderblue y Elliot en 4 condiciones diferentes: aire regular o control sin bolsa; bolsa de alta humedad de 20 μm ; bolsa de atmósfera modificada de 40 μm (AM) y bolsa perforada 0,9% en atmósfera controlada de 10% CO_2 y 5% O_2 (AC + BPO,9%). La evolución de la pérdida de peso fresco luego de 40 y 55 días a 0°C en arándanos almacenados en estas diferentes tecnologías se muestra en la Figura 9. Es posible observar que en fruta sin protección ante la pérdida de agua (aire regular) la pérdida de peso luego de 55 días a 0°C varió entre 6% para Brigitta a 11% en Elliot. En contraposición, la pérdida de peso fue inferior a 1% en fruta almacenada en bolsas de alta humedad y AM. En fruta almacenada en AC + BPO,9%, la pérdida de peso varió entre 2 y 3%. El efecto de las bolsas sobre la pérdida de peso fresco puede ser explicado desde los niveles de humedad relativa obtenidos con el uso de los diferentes envases, que superior al 98% en bolsas de alta humedad y atmósfera modificada y de 92% para el aire regular y 94% para la bolsa perforada 0,9%.

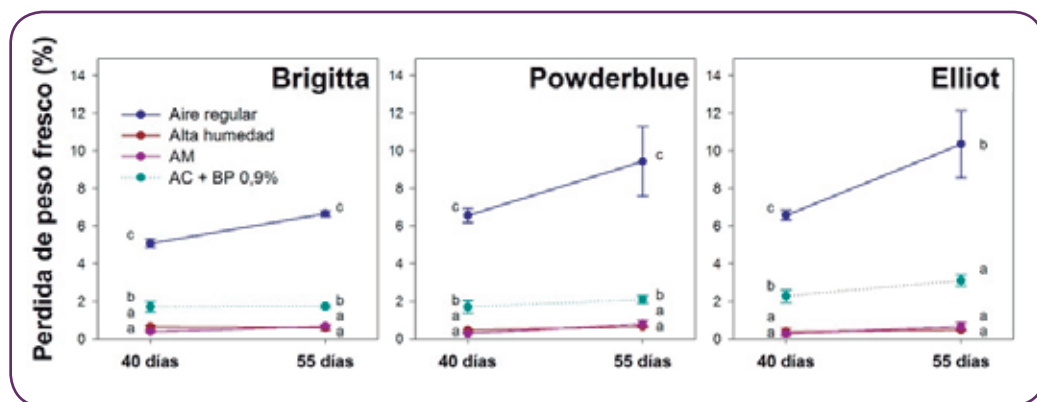


Figura 9. Efecto de cuatro condiciones de almacenaje (aire regular, envase de alta humedad, atmósfera modificada (AM) y atmósfera controlada (AC) con bolsa perforada (BP) 0,9%) sobre la pérdida de peso fresco de arándanos Brigitta, Powderblue y Elliot almacenados por 40 y 55 días a 0°C.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas por prueba de LSD-Fisher ($p < 0,05$). Barras: error estándar de 4 repeticiones de una caja de 1,5 kg.

Sin embargo, es importante identificar que dentro de las bolsas de atmósfera modificada, existen varios proveedores con una variada oferta de bolsas AM, con diferentes características como la capacidad de evitar la condensación en el interior del envoltorio (bolsas anti-fog) o la incorporación de algún agente antifúngico en el material. Asimismo, bolsas AM de distintos proveedores pueden alcanzar diferentes niveles de CO_2 y O_2 o desiguales niveles de humedad relativa al interior del envoltorio a una temperatura dada. Por ejemplo, en la Figura 10, se observa el efecto sobre la pérdida de peso de

cuatro proveedores de AM (AM1, AM2, AM3, y AM4) en cajas de 1,5 kilogramos de fruta. Como es posible observar el proveedor 4 (AM-4) mostró la mayor pérdida de peso promedio (cerca al 2%), con un valor promedio en estabilización de la humedad relativa de 92%. En el resto de los proveedores (AM1-3) la humedad relativa fue superior al 97% y la pérdida de peso promedio fue inferior al 0,5%.

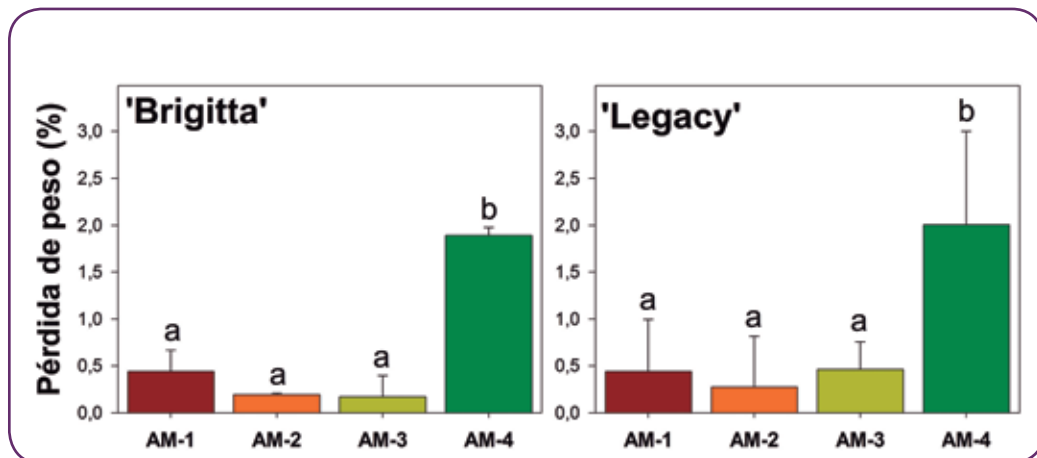


Figura 10. Pérdida de peso fresco en fruto de arándanos Brigitta y Legacy almacenados por 45 días a 0°C, considerando 4 proveedores diferentes de atmósfera modificada (AM-1, AM-2, AM-3 y AM-4).

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas por prueba de LSD-Fisher ($p < 0,05$). Barras: error estándar de 4 repeticiones de una caja de 1,5 kg.

Como se indicó previamente se observaron relaciones significativas entre la firmeza de poscosecha y otras variables de calidad a cosecha y poscosecha. En el Cuadro 71, se indican los coeficientes de correlación de Pearson y el grado de significancia (valor-p) de estas relaciones. La firmeza se relacionó positivamente con la el calibre de la fruta y negativamente con los SST a cosecha.

Cuadro 71. Correlación de factores de precosecha asociados a la firmeza de fruto en cosecha.

| Variable(1) | Variable(2) | n | Pearson | Valor-p |
|-----------------|------------------------|-----------|--------------|---------------|
| Calibre Cosecha | Firmeza Cosecha | 25 | 0,57 | 0,0031 |
| | Firmeza 30d | 25 | 0,33 | 0,1082 |
| | Firmeza 30d+2 | 25 | 0,55 | 0,0048 |
| | Firmeza 45d | 25 | 0,41 | 0,0444 |
| | Firmeza 45d+2 | 25 | 0,28 | 0,1706 |
| SST Cosecha | Firmeza Cosecha | 25 | -0,44 | 0,0278 |
| | Firmeza 30d | 25 | -0,26 | 0,2013 |
| | Firmeza 30d+2 | 25 | -0,29 | 0,1667 |
| | Firmeza 45d | 25 | -0,33 | 0,1045 |
| | Firmeza 45d+2 | 25 | -0,19 | 0,3587 |
| AT Cosecha | Firmeza Cosecha | 25 | -0,35 | 0,0856 |
| | Firmeza 30d | 25 | -0,24 | 0,2479 |
| | Firmeza 30d+2 | 25 | -0,35 | 0,0852 |
| | Firmeza 45d | 25 | -0,22 | 0,2914 |
| | Firmeza 45d+2 | 25 | -0,17 | 0,4268 |

La pérdida de peso fresco, no solo se asocia a la pérdida de firmeza en postcosecha, sino también a la expresión de síntomas de deshidratación visual. Se determinó la relación entre la pérdida de peso fresco y la expresión de síntomas de deshidratación visual, considerando frutos de las variedades Aurora, Brigitta, Star y Legacy. Los frutos se almacenaron por 30 días a 0°C y en grupos de 10 frutos se determinó en dos momentos diferentes del almacenaje la pérdida de peso fresco y la nota de deshidratación visual, considerando una escala de 1 a 5; donde 1= fruto sano, 2= deshidratación muy leve; 3= deshidratación leve; 4= deshidratación moderada y 5 = deshidratación severa (Foto 12).

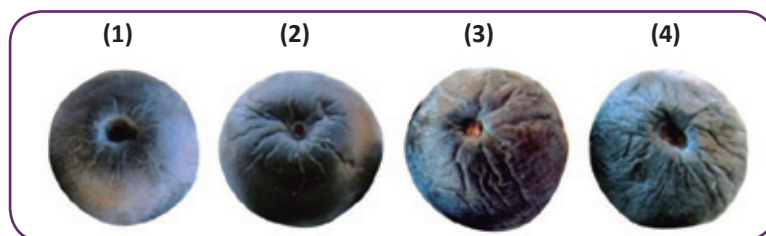


Foto 12. Frutos con síntomas de deshidratación visual: de izquierda a derecha, 1) deshidratación muy leve, 2) deshidratación leve, 3) deshidratación moderada y 4) deshidratación severa.

Considerando estos resultados se construyó una curva de regresión (Gráfico 18) entre la nota de deshidratación visual (eje-Y) y la pérdida de peso fresco (eje-X). Como es posible observar, se obtuvo una relación significativa ($p < 0,001$) y positiva; por lo tanto a medida que aumentó la pérdida de peso fresco, los síntomas de deshidratación visual se agravaron. Considerando la ecuación de regresión ($Y = 0,588 + 0,466 X$; $r^2 = 0,92$) se estima que con un 3% de pérdida de peso del fruto es posible percibir síntomas muy leves de deshidratación visual y con pérdidas de peso cercanas a 5% se observan frutos con síntomas leves. Frutos con síntomas moderados se observan con pérdidas de pesos cercanas al 7%.

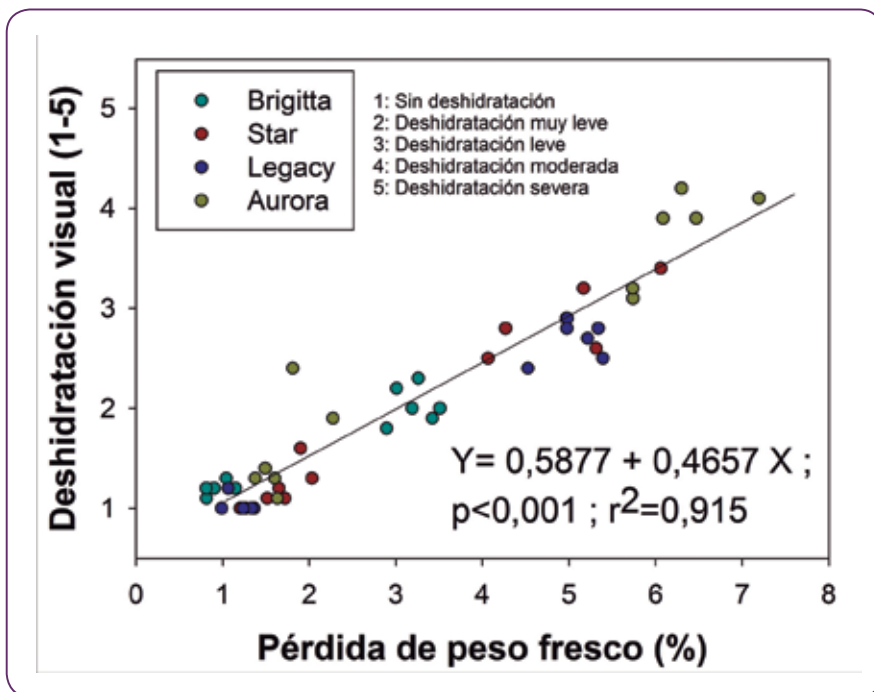


Gráfico 18. Regresión lineal entre la pérdida de peso fresco (eje-x) y la nota de deshidratación visual (eje-y) considerando frutos de arándanos Aurora, Brigitta, Legacy y Star almacenados por un período total de 30 días a 0°C.

Por último, utilizando los resultados obtenidos en el estudio Cropcheck arándanos, se determinó la relación que existe entre el porcentaje de frutos con pulpas en estado de madurez o senescencia avanzada (% de frutos con nota de pulpa 3 y 4 de escala 1-4) y la incidencia de frutos blandos luego de 45 días en almacenamiento refrigerado (Figura 11).

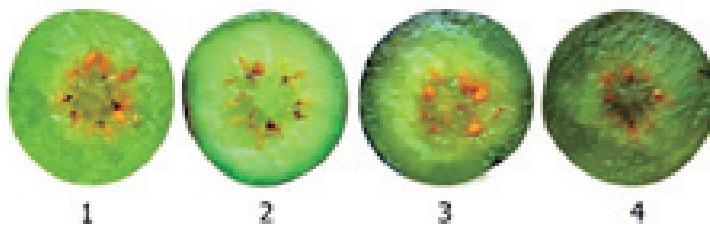
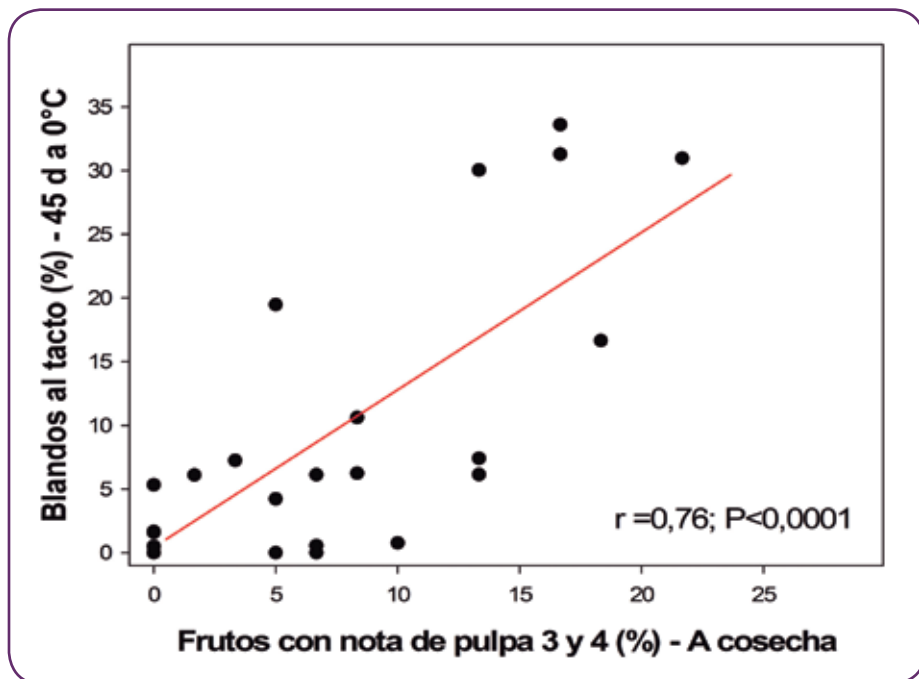


Figura 11. Relación lineal entre el porcentaje de frutos con nota de pulpa 3 y 4 (escala 1 a 4) y la proporción de frutos blandos al tacto luego de 45 días a 0°C. r = coeficiente de correlación de Pearson. Puntos = valor promedio para cada uno de 23 productores de arándanos.

La relación obtenida fue significativa y directamente proporcional; por lo tanto el aumento del porcentaje de frutos con notas de pulpa 3-4 puede generar un aumento en la incidencia o porcentaje de frutos blandos al tacto en post-cosecha. 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 sobremaduros y con esto mayor será la probabilidad de tener frutos blandos en poscosecha, independiente de la tecnología seleccionada durante almacenamiento y transporte.

5.2 Control de pudriciones de poscosecha de arándanos: tecnologías de poscosecha

Como se ha visto en otros capítulos del boletín, la pudrición gris es una de las principales causales de rechazo para arándanos desde Chile, debido a la baja tolerancia en mercado destino (cerca a 0%) y la falta de conocimiento acabado en el control de la enfermedad en pre y poscosecha. Los síntomas de pudrición gris se observan como frutos con consistencia blanda y acuosa, presencia de piel suelta, eventual esporulación superficial y nidos de *B. cinerea* en situaciones de alta severidad (Foto 13).

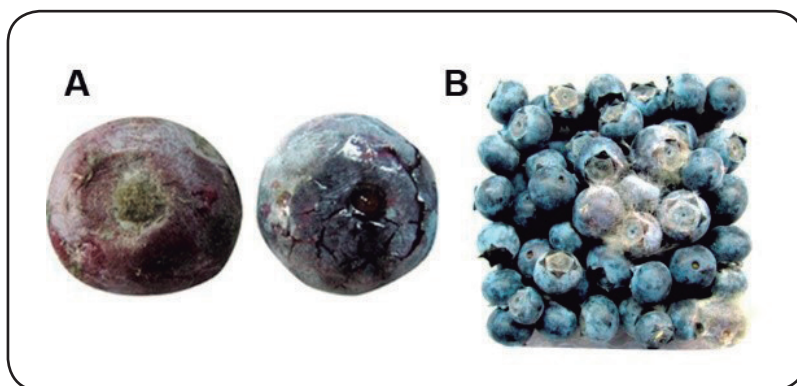


Foto 13. Síntomas de pudrición gris en arándanos. A. Pudrición blanda y acuosa con presencia de esporulación superficial y piel suelta. B. Nidos de *B. cinerea* en pocillo.

Para el control de la enfermedad durante postcosecha, en Chile en las últimas temporadas se ha estudiado el uso de atmósfera modificada, controlada y el uso de anhídrido sulfuroso (SO_2) tanto aplicado como gasificación inicial a cosecha, como aplicado durante almacenaje y transporte por medio de films o papelillos generadores de SO_2 .

5.3. Uso de atmósfera modificada y controlada en arándanos de exportación

Como se describió en el Cuadro 70, existe una amplia oferta de bolsas de atmósfera modificada que permiten estabilizar la concentración de gases al interior del envase a niveles diferentes a la atmósfera regular (21% O_2 y 0,04% CO_2). En la Figura 12 se muestra la evolución de CO_2 y O_2 por 50 días a 0°C al interior de bolsas AM de 4 proveedores, lo anterior evaluado sobre las variedades Brigitta y Legacy en cajas de 12X125 g (1,5 kg). Como es posible observar, la concentración de CO_2 , solamente en el proveedor 4 el CO_2 se estabilizó cercano al 10% y el resto de los proveedores se estabilizó entre 3% y 5%, posiblemente disminuyendo la capacidad de controlar hongos y pudriciones. Además el O_2 en dos proveedores (AM-1 y AM-3) se mantuvo cercano a 17-18%; en el proveedor 2 cercano al 13% y en el proveedor 4 cercano al 10%.

En términos de calidad y condición de poscosecha de arándanos, el efecto más importante que tiene la modificación de la concentración de gases al interior del embalaje, es la reducción del desarrollo de hongos y pudriciones, mostrando una alta efectividad mayor cuando se estabiliza de manera temprana sobre una mayor concentración de CO_2 (>8%). Sin embargo, trabajar con niveles muy altos (>15%) de CO_2 puede generar efectos negativos sobre la firmeza del fruto, aumentando la proporción de frutos blandos luego de almacenaje. Asimismo, estabilizar la concentración de oxígeno en niveles muy bajos, es riesgoso para el desarrollo de problemas de fermentación o sabores extraños en el fruto, sobre todo cuando no se tiene un completo control de la temperatura en poscosecha. El daño potencial por altos niveles de CO_2 estará condicionado por el nivel alcanzado, tiempo de exposición a este y variedad utilizada.

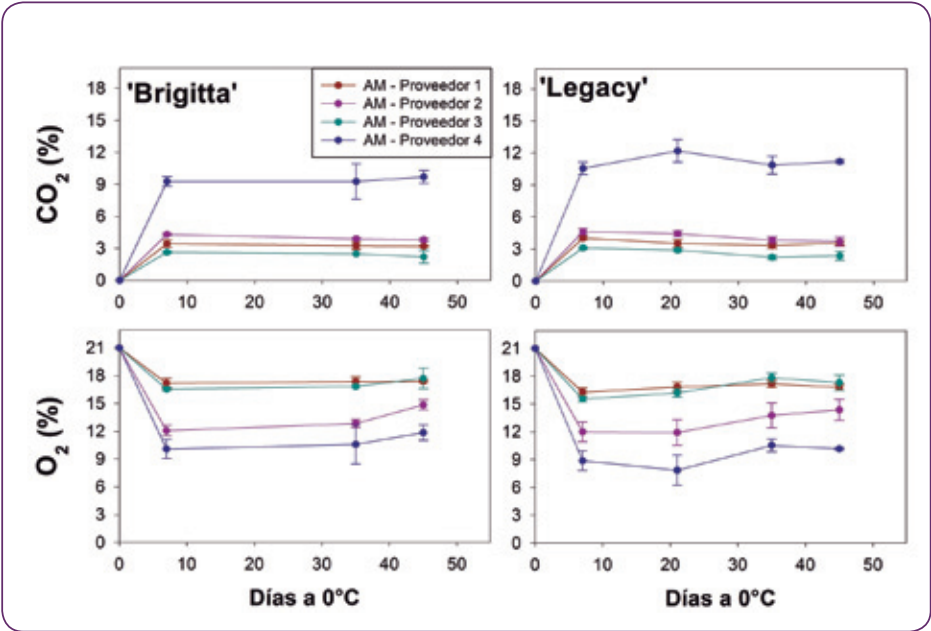


Figura 12. Evolución de la concentración de CO_2 y O_2 por 45 días a 0°C al interior bolsas AM de cuatro proveedores diferentes en arándanos Brigitta y Legacy. Barras: error estándar de 4 repeticiones de una caja de 1,5 kg.

Es importante señalar que la implementación y uso de tecnología AM dependerá de la capacidad de infraestructura y operación de las empresas exportadoras. Esto incluye la selección de un sistema que se ajuste al mercado de destino, que sea más fácil de implementar y manejar durante toda la cadena y fundamental es entender los beneficios, limitaciones y riesgos de los diferentes tipos de bolsas AM ofrecidas en el mercado. Sin embargo, como norma general en el uso de bolsas AM, es primordial disminuir la temperatura a los niveles requeridos (normalmente 0°C) lo antes posible y realizar un

buen control de la temperatura durante el almacenaje, con el objetivo de evitar el agua libre al interior del envase y estabilizar CO_2 y O_2 en niveles adecuados, lo cual podría traer consecuencias negativas como expresión del máximo potencial de pudriciones y daños por exceso de CO_2 y/o deficiente O_2 (ejemplo: ablandamiento, mal sabor).

Por otro lado, el uso de atmósfera controlada (AC) corresponde a la principal tecnología disponible para el control de hongos y pudriciones en arándanos y no presenta restricciones de uso para los mercados de destino. Sin embargo, el incorrecto uso de esta tecnología (niveles de gases inadecuados según sensibilidad de variedad-zona) puede traducirse en la expresión de otros problemas como el ablandamiento excesivo y sabores extraños. Actualmente existe una amplia oferta combinatoria de gases en atmósfera controlada para la industria. Es por esto que en la Unidad de Poscosecha del Centro Regional INIA La Platina, se estudió el efecto de la tecnología de AC en arándanos Brigitta, considerando frutos inoculados artificialmente en la herida pedicelar de cosecha con una suspensión conocida de conidias de *B. cinerea*. Los frutos inoculados se expusieron por 40 días a 0°C en 3 concentraciones diferentes de CO_2 y O_2 , las cuales correspondieron a, AC1= 10% O_2 - 5% CO_2 ; AC-2= 10% O_2 - 10% CO_2 y AC3= 15% CO_2 - 10% O_2 . Adicionalmente y para realizar el cálculo del porcentaje de efectividad al control de pudrición gris se consideró un tratamiento control en atmósfera regular (0,03% CO_2 y 21% O_2). La severidad y la prevalencia de pudrición gris se determinaron luego de 40 días a 0°C , a los 0, 3 y 5 días de exposición a 20°C . La severidad de pudrición gris se definió con una escala de 5 notas, donde la nota 1 correspondió a un fruto sano y la nota 5 pudrición gris severa (**Foto 14**).

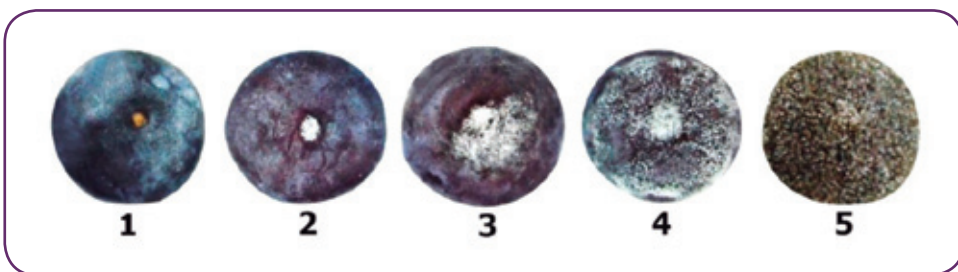


Foto 14. Escala de severidad de pudrición gris en arándanos inoculados artificialmente con suspensión conocida de conidias de *B. cinerea*.

En la Figura 13 se presentan los resultados obtenidos en el estudio. Como es posible observar luego de 40 días a 0°C , a medida que se aumentó la concentración de CO_2 en la cámara de AC la efectividad al control de *B. cinerea* también aumentó desde 32% en AC-1 (5% CO_2), a cercana al 100% al en la AC-3 (15% CO_2). Sin embargo, la nota promedio de severidad (1-5) en las tres concentraciones estudiadas no fue superior a 2,0. Luego de exposición a 20°C se observa un aumento de la severidad al desarrollo de la enfermedad

y una disminución considerable de la efectividad en todos los tratamientos de AC, luego de 3 días a 20°C la efectividad al control de pudrición gris fue de 35,6% en AC-3 y cercana 0% en los tratamientos AC-1 y AC-2. Luego de 5 días a 20°C, la efectividad de AC-3 fue de 0%.

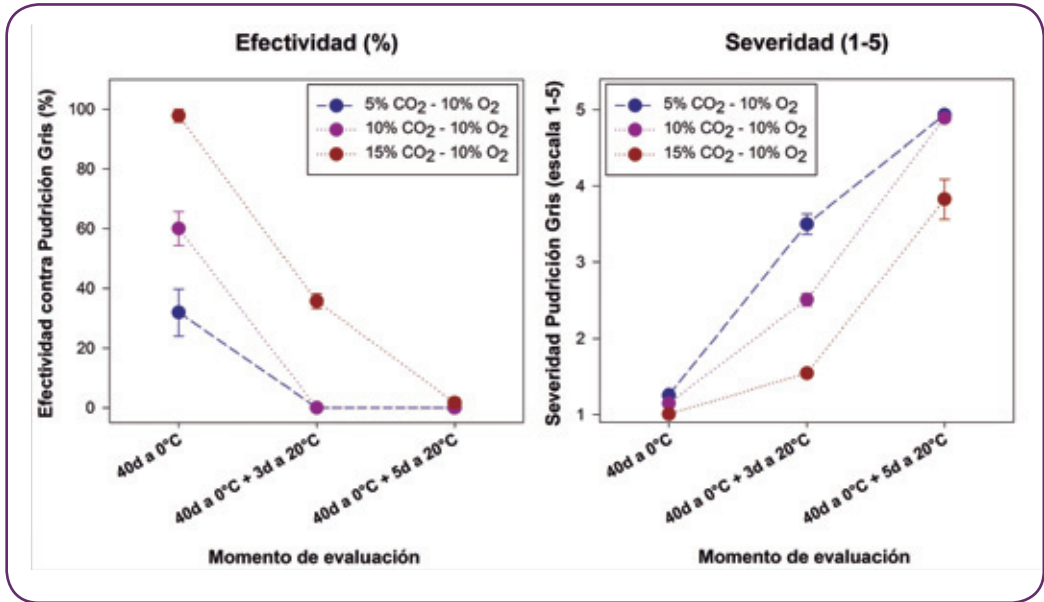


Figura 13. Efectividad al control (%) y severidad (escala 1-5) de la pudrición gris en arándanos Brigitta almacenados por 40 días a 0°C en 3 concentraciones de CO₂-O₂ en atmósfera controlada. Barras: error estándar de 4 repeticiones de 30 frutos.

Estos resultados permiten mostrar el efecto fungistático sobre *B. cinerea* generado por la atmósfera controlada, efectividad que se fue perdiendo una vez removida la fruta de la condición de AC y avance en el tiempo de exposición a 20°C.

Dado los resultados obtenidos luego de 40 días a 0°C en frutos almacenados en AC se obtuvo una regresión lineal significativa ($p < 0,001$; $r^2 = 0,96$) entre la efectividad al control de pudrición gris (eje-y) y la concentración de CO₂ en almacenaje (eje-X), (Gráfico 19). Considerando el modelo ($y = -0,87 + 6,43x$) se obtiene que una efectividad mayor al 75% se logra con valores superiores al 12% de CO₂.

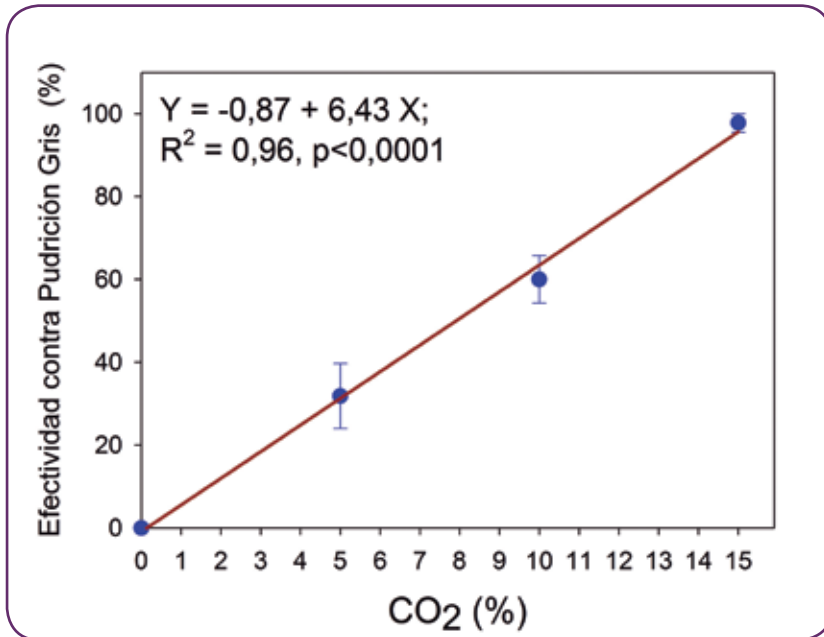


Gráfico 19. Regresión lineal para la efectividad contra la Pudrición Gris luego de 40 días a 0°C (eje-Y) en función de la concentración de CO₂ en atmósfera controlada (eje-X) en arándanos Brigitta. Barras: error estándar de 4 repeticiones de 30 frutos.

Este estudio fue acompañado por la evaluación de parámetros de calidad, como la firmeza instrumental. Considerando arándanos Brigitta no inoculados artificialmente con *B. cinerea* y expuestos a las mismas concentraciones de CO₂ por 40 días a 0°C, se determinó la firmeza instrumental con un equipo texturómetro (Gráfico 20). Como es posible observar, la firmeza instrumental determinada como fuerza máxima a la deformación de un 10% del fruto, disminuyó significativamente ($p < 0,001$) a medida que se aumentó la concentración de CO₂ desde 178,5 g-fuerza en el tratamiento AC-1 a 125,1 g-f en el tratamiento AC-3. El riesgo a que esta disminución de firmeza se vea reflejada en un aumento de los frutos blandos al tacto, dependerá fuertemente del grado de sensibilidad a CO₂ de la variedad, la firmeza basal a cosecha, el estado de madurez o senescencia de la fruta y la concentración de gases utilizada y tiempo de exposición a esta concentración. Por lo tanto, el estudio de la sensibilidad a alto CO₂ en arándanos en diferentes condiciones de cultivo es primordial.

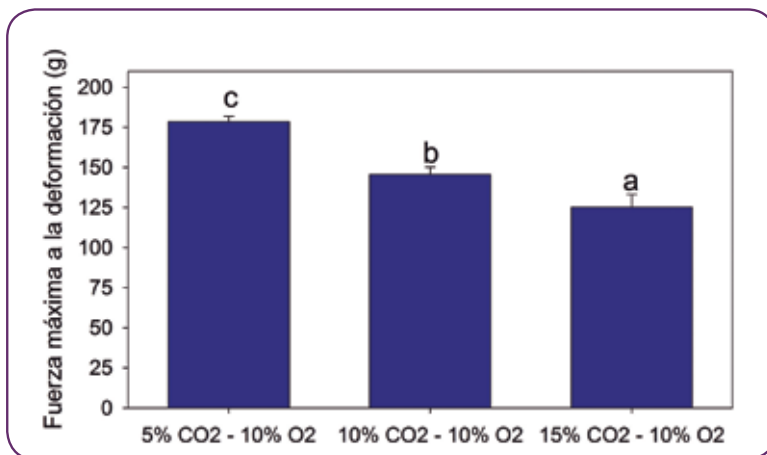


Gráfico 20. Fuerza máxima a la compresión (g) determinada con un equipo texturómetro en arándanos Brigitta almacenados por 40 días a 0°C en 3 concentraciones de CO₂-O₂ en atmósfera controlada.

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas por prueba de LSD-Fisher ($p < 0,05$). Barras: error estándar de 4 repeticiones de 15 frutos.

Por último, indicar que una limitante importante de la tecnología AC en comparación a la AM es que no puede ser utilizada durante toda la cadena de almacenaje, transporte y comercialización, quedando limitada solo al tiempo de transporte dentro del contenedor. Asimismo, se debe tener siempre en cuenta que existe una sensibilidad varietal al desarrollo de efectos negativos, asociada a concentraciones altas de CO₂. A pesar del desconocimiento del comportamiento según variedad y edad del fruto, es recomendable utilizar niveles cercanos al 8-12% de CO₂ y 10% de O₂.

5.4 Recomendaciones en el uso de anhídrido sulfuroso (so₂) en arándanos

El anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, irritante y corrosivo, proveniente de la combustión del azufre, usado por más de 80 años en la industria de la uva de mesa para el control de la pudrición gris (*Botrytis cinerea*) de poscosecha. Utilizando la experiencia en uva de mesa como línea base, en arándanos también se han considerado dos metodologías diferentes de tratamiento con SO₂. La primera está relacionada 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. Normalmente esta aplicación se realiza inmediatamente después de cosecha con fruta a granel y en condiciones de temperatura ambiente (20-25°C), con una duración de 20-30 minutos. Bajo estas condiciones Rivera *et al.* (2013) estudiaron la concentración-tiempo efectividad para el control de la pudrición gris de poscosecha, estableciendo un valor de 200-300 ppm-h para asegurar sobre un 90% de efectividad en el control. Al igual que en 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 factores en que se debe poner especial atención, la infraestructura para el proceso de gasificación es una de las principales. Para ser exitosos en este proceso es necesario contar con una cámara hermética de volumen conocido equipada con sistema de inyección y de evacuación de SO_2 (Foto 15).



Foto 15. Cámara de gasificación con SO_2 para arándanos de exportación.

Al momento del diseño de la cámara de gasificación y con el objetivo de no sub o sobre estimar el tamaño de las cámaras es importante conocer los volúmenes de fruta que se gasificarán de manera simultánea durante la temporada. Otro factor importante a tener en consideración, es la ubicación de la cámara, ésta debe estar al aire libre, pero bajo sombreadero, respetando el decreto 157/2005 relacionado con la distancia de la instalación de la cámara respecto a los demás lugares habitados en el huerto o la central frutícola.

Por otro lado, para el diseño de la cámara se debe poner atención al flujo de aire de los ventiladores, necesario durante el proceso de gasificación. En función de la experiencia con uva de mesa, se han estandarizado valores de flujo de aire superior o cercano a los $6 \text{ m}^3/\text{min}$. Otra recomendación importante es evitar usar fruta húmeda en el proceso de gasificación, esto se debe a que el anhídrido sulfuroso es un producto que difunde a los sitios de agua libre, afectando la uniformidad de la efectividad en el control. Asimismo, el exceso de SO_2 puede generar fitotoxicidad en los frutos.

Para el cálculo de la concentración-tiempo (CT) de SO₂ necesaria se debe considerar el producto entre la concentración de SO₂ y el tiempo de exposición a dicha concentración. Por ejemplo, para obtener una concentración-tiempo de 200 ppm-h, utilizar una concentración de 200 ppm por 1 hora o una concentración de 400 ppm por sólo 30 minutos. En esta línea, siempre es recomendable chequear la concentración-tiempo de SO₂ durante el proceso de gasificación, y para esto existen varios proveedores de tubos de detección pasiva de SO₂. En Chile es posible encontrar en el mercado los tubos de detección pasiva de SO₂ de 0 a 600 ppm-h (Gastec, Japón). Al momento de postura del tubo es importante no obstruir su apertura ya que dará lecturas erróneas. Asimismo, se debe leer el tubo lo antes posible una vez abierta la cámara y evacuado el exceso de SO₂. Esto se debe a que los tubos tienden a continuar reaccionado incluso cuando no se encuentran expuestos directamente a SO₂.

Para el cálculo de la cantidad de SO₂ (g o cc) necesarios para alcanzar la CT adecuada, considerando una cámara de volumen conocido, en uva de mesa se han formulado diferentes ecuaciones, dentro de las más difundidas se encuentran la publicada por Luvisi (1992) en California, EUA. En función de lo anterior se ajustó una ecuación para el caso de arándanos gasificados a temperatura ambiente (15-20°C) la cual se presenta a continuación:

$$SO_2 \text{ (gramos)} = \left(\left(\frac{1,67 \times VL \times 35,3 \times C}{10.000.000} \right) \times 453,59 \right) + (D \times 4,0 \times 0,45)$$

Dónde:

- VL** el volumen libre de la cámara en m³ (restar el volumen ocupado por la fruta al volumen de la cámara);
- C** es la concentración constante deseada (ejemplo 900 ppm por 20 min) y
- D** corresponde a la cantidad de cajas de 1,5 kg de arándanos.

No es menor indicar que esta fórmula es una referencia para realizar el cálculo teórico de SO₂ necesario para el proceso de gasificación, muy recomendable para evaluar y ajustar la cantidad de SO₂ a utilizar con tubos de detección pasiva de SO₂, tanto en la cámara libre de fruta, como con fruta.

La segunda metodología, corresponde al uso de generadores de mantención y se relaciona con el efecto que tienen bajas concentraciones constantes de SO₂ (ejemplo 2-10 ppm) sobre el avance de la enfermedad entre frutos enfermos y sanos durante el almacenaje poscosecha. Es importante indicar que de acuerdo a estudios de Palou *et al.* (2002) en uva de mesa 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. 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). En uva de mesa el uso excesivo de anhídrido sulfuroso puede generar fitotoxicidad en el racimo, afectando las bayas con sintomatologías como blanqueamiento (principalmente en variedades coloreadas como Red Globe) y microfisuras o hariline en la epidermis; además de ocasionar daños a nivel de raquis.

Para el caso de los arándanos las sintomatologías al mal uso de SO_2 se relacionan con toxicidad a nivel de la herida pedicelar en el fruto. Estos síntomas se describen como un ensanchamiento y cambio de color (blanqueamiento) de la cavidad pedicelar (Foto 16). 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, provocando liberaciones excesivas de SO_2 que pueden ocasionar los síntomas descritos.



Foto 16. Síntomas visuales de exceso de SO_2 , muestra toxicidad leves (izquierda) y toxicidad severa (derecha).

Utilizando las experiencias en uva de mesa como línea base, en la Unidad de Poscosecha del Centro Regional INIA La Platina se evaluó el uso de dos generadores de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ de distintos proveedores (G-1 y G-2) en dos condiciones de bolsa diferente, alta humedad (AH) y bolsa perforada 0,9% (BP) en arándanos Legacy almacenados por 45 días a 0°C más 2 días a 20°C . Pocillos de 125 g se inocularon artificialmente con una baya con síntomas de *B. cinerea*, previo a la exposición de los tratamientos con el objetivo de determinar el efecto de los tratamientos sobre la pudrición gris. Adicionalmente se evaluó la prevalencia o porcentaje de frutos afectados con signos de hongos creciendo

en la herida pedicelar. Este estudio incluyó un análisis de tipo factorial, donde el factor 1 correspondió al tipo de bolsa utilizado y el factor 2 al proveedor de generador de mantención.

En el Cuadro 72, se describen los resultados obtenidos en relación a la prevalencia de pudrición gris y de hongos creciendo sobre la herida pedicelar. Asimismo, se incluye el valor-p obtenido en el análisis de la varianza (ANDEVA).

Cuadro 72. Efecto del uso de dos proveedores diferentes de generadores de SO₂ (SO₂-G1 y SO₂-G2) y envases (alta humedad y bolsa perforada 0,9%) sobre la prevalencia de pudrición gris y hongos creciendo sobre la herida pedicelar de cosecha en arándanos Elliot inoculados artificialmente con *B. cinérea* y almacenados por 45 días a 0°C más dos días a 20°C.

| Tratamiento | Pudrición gris (%) | Hongo en herida pedicelar (%) |
|------------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| AH + SO ₂ -G1 | 13,0 | 1,4 |
| AH + SO ₂ -G2 | 28,4 | 1,6 |
| BP + SO ₂ -G1 | 19,4 | 2,3 |
| BP + SO ₂ -G2 | 38,7 | 2,8 |
| Efectos principales | | |
| Bolsa AH | 20,7 | 1,5 a |
| Bolsa P | 29,0 | 2,6 b |
| | n.s. | |
| SO ₂ -G1 | 16,2 a | 1,9 |
| SO ₂ -G2 | 33,6 b | 2,2 |
| | | n.s. |
| Análisis de la varianza (valor -p) | | |
| Tipo de bolsa | 0,062 | 0,027 |
| Proveedor del generador | 0,003 | 0,388 |
| Bolsa x Proveedor | 0,858 | 0,923 |

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas por prueba de Fisher ($p < 0,05$). n.s. = no significativo ($p > 0,05$).

Como es posible observar la prevalencia de pudrición gris varió desde 13% en el tratamiento AH+SO₂-G1 a 38,7% en BP+SO₂-G2; asimismo la prevalencia de hongos en la herida pedicelar aumentó de 1,4% AH+SO₂-G1 a 2,8% en BP+SO₂-G2. Sin embargo, las variables evaluadas no fueron significativamente afectadas por la interacción de ambos factores, pero sí por el tipo de generador (p=0,003) para el caso de la pudrición gris, y por el tipo de bolsas (p=0,027) para hongos en la herida pedicelar. Por lo tanto, es posible indicar que se observaron diferencias significativas en el control de la pudrición gris entre tipos de generadores, independiente del tipo de bolsa utilizada.

En contra posición, el tipo de bolsa afectó la prevalencia de hongos en la herida pedicelar, la cual fue mayor en la bolsa perforada independiente del tipo de generador. Por otro lado, es importante señalar que se determinó la concentración de SO₂ durante el almacenaje. Para el caso del generador 1 se obtuvo un valor promedio de concentración-tiempo (CT) acumulado de 2.840 ppm-h; y para el caso del generador 2 un valor promedio de CT de 1.060 ppm-h.

Asimismo, al considerar el promedio de ambos generadores según el tipo de bolsa utilizada, se puede observar un valor promedio de CT de 2.900 ppm-h para la bolsa de alta humedad y de 900 ppm-h para la bolsa perforada. Esta información permite explicar las diferencias observadas en el control de hongos y pudriciones. De igual modo, permiten indicar que la acumulación de SO₂ al interior del envase no solo depende del tipo de generador utilizado, sino también del tipo de bolsa usada. Por lo tanto, ante un mal manejo de la tecnología (ejemplo quiebres térmicos) en bolsas de alta humedad se aumenta considerablemente los riesgo de generar fitotoxicidad y ablandamiento de los frutos en comparación a bolsas perforadas.

Para el caso de arándanos, ambos tratamientos con SO₂ (gasificación inicial y generadores de mantención) se encuentran disponibles y han sido o están siendo integrados por productores y exportadoras. Sin embargo, la realidad es completamente diferente a la uva de mesa, debido a que los productores de arándanos se enfrentan a una tecnología parcial o completamente nueva, sobre todo en zonas productivas del sur de Chile, donde existe un nulo o leve diálogo con la industria de producción de uva de mesa.

De esta manera productores y empresas exportadoras han debido o deberán adaptar su cadena de producción para facilitar el desarrollo y optimización de estos tratamientos. Si bien corresponde a una alternativa efectiva para el control de pudrición gris, un mal manejo de esta tecnología en arándanos, generando exposiciones excesivas a SO₂ por períodos prolongados pueden causar daños en diversos niveles. Asimismo, es importante señalar que para el caso de fruta fresca de exportación el uso de anhídrido sulfuroso se encuentra solamente registrado en uva de mesa para su exportación a EUA, respetando una concentración máxima de residuos de 10 ppm (EPA, 1986). Es probable que una vez registrado el producto para su uso en arándanos exportados a EUA, se respete una normativa similar en relación a los residuos de SO₂ permitidos en uva de mesa.

Literatura Citada

EPA, 1986. Interim policy for sulfating agents on grapes. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Federal Register 51, 47240–47241.

Luisi, D. 1992. Sulfur Dioxide Fumigation of table grapes. 21 p. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, CA, USA.

Palou, L., Crisosto, C., Garner, D., Basinal, L.M., Smilanick, J.L., Zoffoli, J.P. 2002. Minimum constant sulfur dioxide emission rates to control gray mold of cold-stored table grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 53(2):110-115.

Paniagua, A.C., A.R. East, J.P. Hindmarsh, and J.A. Heyes. 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biol. Technol.* (79):13-19.

Rivera S.A., B.A. Latorre and J.P. Zoffoli. 2013. Determination of optimal sulphur dioxide time and concentration product for postharvest control of gray mold of blueberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* (83):40-46.

Smilanick, J.L., Henson, D.J., 1992. Minimum gaseous sulfur dioxide concentrations and exposure periods to control *Botrytis cinerea*. *Crop Protect.* (11): 535–540.

