



Evaluación de bolsa atmósfera modificada y concentraciones de anhídrido sulfuroso aplicadas sobre frutos de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald

Evaluation of modified atmosphere bag and sulphur dioxide concentrations applied on highbush blueberries fruit (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald

Mario Rodríguez Beraud ^{1,*}; Anddy Wyss Valdés ²; Nelson Hormazábal Vásquez ¹

¹ Escuela de Agronomía, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco, Rudecindo Ortega 02950, Temuco, Chile.

² Sociedad Huertos Collipulli S.A., Ruta 5 Sur Km 578,5 Pidima, Ercilla, Chile.

Recibido 06 septiembre 2015. Aceptado 06 diciembre 2015.

Resumen

Con el objetivo de evaluar las técnicas de atmósfera modificada y aplicación de anhídrido sulfuroso sobre parámetros de calidad de postcosecha en frutos de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald, se realizó un experimento de seis tratamientos, dados por la combinación de dos factores, atmósfera modificada (con y sin), y diferentes concentraciones de anhídrido sulfuroso (generadas por 0, 1 y 2 g de metabisulfito de sodio) durante 7, 14, 21 y 28 días a 0 °C. Con la dosis de 2 g de metabisulfito de sodio en atmósfera modificada no se presentaron pudriciones, a diferencia del tratamiento testigo que presentó un 4,86% luego de 28 días de almacenaje. Los resultados indican que la incidencia de pudrición gris disminuyó significativamente ($p \leq 0,05$) con anhídrido sulfuroso en bolsa atmósfera modificada, existiendo un efecto de interacción entre ambos factores, no obstante, el gas causó daños de blanqueamiento de frutos, el que correspondió a un 11,66% con una dosis de 2 g de metabisulfito de sodio, luego de 28 días de almacenaje. El uso de bolsa de atmósfera modificada redujo significativamente ($p \leq 0,05$) la pérdida de peso por deshidratación (en promedio un 4%) respecto a los tratamientos donde esta tecnología no fue utilizada. La concentración de sólidos solubles no fue influenciada por los tratamientos, manteniéndose entre 13 y 14%.

Palabras clave: postcosecha, *Botrytis cinerea*, pudrición gris, metabisulfito de sodio, deshidratación.

Abstract

Aiming to evaluate techniques for modified atmosphere and application of sulphur anhydride upon parameters of quality of postharvest on blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald, an experiment of six treatments was conducted, given by the combination of two factors, modified atmosphere (with and without) and different concentrations of sulphur dioxide (generated by 0, 1 and 2 g of sodium metabisulphite) during 7, 14, 21 and 28 days at 0 °C. The dose of 2 g of modified atmosphere sodium metabisulphite showed no rotting, in contrast to the control treatment that showed a 4.86% after 28 days of storage. The results indicate that grey rot incidence decreased significantly ($p \leq 0.05$) with sulfur dioxide in modified atmosphere bag, with an effect of interaction between both factors, however the gas that caused whitening damage on fruits, which corresponded to 11.66% with a dose of 2 g of sodium metabisulphite after 28 days of storage. The use of modified atmosphere bag reduced significantly ($p \leq 0.05$) weight loss by dehydration (4% average) compared to treatments where this technology was not used. The concentration of soluble solids was not influenced by treatments, staying between 13% and 14%.

Keywords: postharvest, *Botrytis cinerea*, gray rot, sodium metabisulphite, dehydration.

1. Introducción

El fruto del arándano es muy perecedero debido a que presenta una tasa respiratoria

elevada (Godoy, 2004), del tipo climatérico donde el etileno es producido al momento de la cosecha (Zoffoli *et al.*,

* Autor para correspondencia
E-mail: marodrig@uct.cl (M. Rodríguez).

2013), susceptible a la descomposición rápida por lo que tiene una corta vida de mercado (Hancock *et al.*, 2008), existiendo diferencias entre cultivares en su capacidad o vida de almacenaje (Eccher *et al.*, 2010). Los frutos están expuestos a múltiples pérdidas de postcosecha debido a la manipulación, almacenamiento y distribución (Ansari y Tuteja, 2015), siendo la descomposición por hongos la principal causa de éstas pérdidas (Duarte *et al.*, 2009), entre los agentes causales destacan *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Rhizopus stolonifer* que provocan síntomas de pudrición de frutos (Latorre, 1999; France, 2012; Rivera *et al.*, 2013a).

Botrytis cinerea es un hongo fitopatógeno causante de la pudrición gris en muchas especies utilizando diferentes mecanismos de infección (Agrios, 1998), este patógeno puede atacar a un cultivo en cualquier estado de desarrollo y a cualquier parte de la planta (Benito *et al.*, 2000; Holz *et al.*, 2003). En los frutos causa ablandamiento, liberación de jugo, desprendimiento de epidermis y forma micelio blanquecino que posteriormente se vuelve de color plomizo, debido a la proliferación de estructuras reproductivas como conidióforos y conidias (France, 2012).

Alternaria alternata produce lesiones hundidas en la superficie de los frutos, posteriormente se forma una masa de micelio fúngico con esporas de color verde oscuro (Anco y Ellis, 2011), mientras que *R. stolonifer* se diferencia de *B. cinerea* por la presencia de largos esporangióforos que crecen sobre los frutos y que terminan en una vesícula de color negro (France, 2012).

Debido a estos problemas de postcosecha del arándano se ha investigado y probado tecnologías para reducir enfermedades fungosas y extender la vida de mercado de sus frutos, como biofumigantes (Mehra *et al.*, 2013) o compuestos volátiles tales como el isotiocianato de alilo responsable del sabor picante de la mostaza (Wang *et al.*, 2010) o la inclusión de complejos aromáticos como β -cyclodextrin-hexanal

(Almenar *et al.*, 2007). También, se han utilizado recubrimientos comestibles (Duan *et al.*, 2011), quitosano (Yang *et al.*, 2014), inhibidores de la acción del etileno como 1-metilciclopropeno (De Long *et al.*, 2003; Chiabrando y Giacalone, 2011), radiación ultravioleta (Perkins-Veazie *et al.*, 2008) e irradiación gamma (Trigo *et al.*, 2006); además, de tratamientos con agua caliente (Fan *et al.*, 2008) y dióxido de cloro (Wu y Kim, 2007). Sin embargo, el anhídrido sulfuroso ha sido el de mayor importancia (Franck *et al.*, 2005), utilizándose en especies como higos (Cantín *et al.*, 2011), manzanas (Chen *et al.*, 2004), pero su uso principal ha sido en uva de mesa para controlar hongos postcosecha (Zoffoli *et al.*, 2009; Cantín *et al.*, 2012), sanitizando la fruta después de la cosecha, donde elimina esporas superficiales y sella o cicatriza heridas frenando el desarrollo de pudriciones durante el almacenaje (Zoffoli, 2002) y mediante generadores con metabisulfito de sodio para evitar que la enfermedad avance durante el almacenaje (Palou *et al.*, 2002; Zutahy *et al.*, 2008), presentando una gran eficacia, no obstante, altas concentraciones por tiempo prolongado han comprometido el sabor, y causado grietas (Zoffoli *et al.*, 2008; 2009) y blanqueamiento en los frutos (Crisosto *et al.*, 2002; Gao *et al.*, 2003), además altas temperaturas aceleran el desprendimiento del gas aumentando su concentración (Castillo, 2004).

Adicionalmente, se han utilizado embalajes especiales como los constituidos por polímeros biodegradables (Almenar *et al.*, 2008; Siracusa *et al.*, 2008) o bioplásticos (Peelman *et al.*, 2013), destacando entre estos las bolsas de atmósfera modificada (Zagory, 1997), las cuales han permitido extender la vida útil y mantener la calidad de frutas tales como: arándanos (Moggia *et al.*, 2014), cerezas (Wang y Long, 2014), uvas (Martínez-Romero *et al.*, 2003), frutillas (Nielsen y Leufvén, 2008), manzanas Royal Gala y Granny Smith, limones y naranjas (Sandhya, 2010). En cerezas el principal problema era la pérdida de sabor de los

frutos en destino, con bolsa atmósfera modificada mediante un 2 a 8% O₂ y 7% de CO₂ no se han presentado problemas (Wang y Long, 2014). En arándanos variedad Brigitta se ha logrado reducir el porcentaje de frutos deshidratados en un 20% y mantener la firmeza hasta 30% más que en tratamientos sin bolsas, luego de 30 días de almacenaje a 0°C (Moggia *et al.*, 2014).

La modificación de la atmósfera interior se produce por la interacción natural entre dos procesos, la respiración del producto y la transferencia de gases a través del envase que conduce a un ambiente rico en CO₂ y pobre en O₂ (Fonseca *et al.*, 2002), el uso de esta tecnología requiere del conocimiento del producto (Kader y Watkins, 2000), de la tasa de respiración y de las concentraciones de gas óptimas (Song *et al.*, 2002); del tipo de bolsa, su espesor y permeabilidad (Song *et al.*, 1992); del manejo de la temperatura y humedad de almacenamiento (Rosenfeld *et al.*, 1999), para mantener el sabor y la calidad nutricional de los frutos (Kader, 2010).

A pesar de la eficacia de los tratamientos postcosecha, desde hace cuatro temporadas la calidad y condición de llegada de los arándanos exportados desde Chile ha ido empeorando, según Juillerat (2014) los principales defectos de la temporada 2013/2014 corresponden a un 13% de pudrición, 18% de hongos, 22% de deshidratación, y un 47% de problemas por firmeza de la fruta. Según Rosas (2014), para la temporada 2014/2015 se esperan 100.000 toneladas de exportación en fresco, por esta razón aumenta la importancia de los tratamientos postcosecha.

Por lo anteriormente expuesto, la presente investigación plantea como hipótesis que en frutos de arándano cv Emerald, la utilización de bolsa atmósfera modificada y la aplicación de concentraciones de SO₂ (generador), mejoran algunos parámetros de calidad en postcosecha, teniendo por objetivo, determinar un sistema que reduzca la incidencia de pudrición gris y

minimice la pérdida de peso por deshidratación, evitando el daño de blanqueamiento de frutos por SO₂ y la disminución de la concentración de sólidos solubles. El sistema investigado se basa en el uso de atmósfera modificada sola o en combinación con una concentración de anhídrido sulfuroso.

2. Materiales y métodos

2.1. Material vegetal

El material vegetal utilizado correspondió a bayas de arándano del cultivar Emerald, provenientes del huerto San José, ubicado en la comuna de Los Vilos, Región de Coquimbo (32°1' lat. Sur y 71°2' long. Oeste), Chile. Los arándanos fueron cosechados el 14/10/2013 y enviados a empaque donde fueron seleccionados mediante un control de calidad, evaluando parámetros de calidad y condición. Además, fueron acondicionados a una temperatura de pulpa y ambiente de 0 °C. Para el embalaje de los arándanos se utilizaron envases fabricados de polietilentereftalato perforados con capacidad de 500 g.

2.2. Bolsa atmósfera modificada

Las bolsas de atmósfera modificada utilizadas son de uso en arándano, correspondieron a bolsas de polietileno de densidad baja, de claridad alta, hechas de resina, polímeros y aditivos. Las dimensiones de la bolsa fueron 29,2 x 26,6 x 48,3 cm, utilizada en caja de 1,5 kg. Los envases con arándanos fueron ubicados dentro de la bolsa. El sellado de la bolsa debe ser hecho con baja humedad interior, mediante máquina termo selladora (120 °C).

Para determinar los porcentajes de CO₂ y O₂ del ambiente interior de las bolsas, se utilizó un equipo analizador de gases marca PBI Dansensor modelo Checkpoint para atmósferas modificadas. Este equipo mide la concentración de estos gases a través de un sensor infrarrojo que tiene incorporada una aguja delgada de medición con lo que extrae una alícuota de

2 mL para medir O₂ y 5 mL, para CO₂. El procedimiento consistió en tomar dos lecturas de cada repetición, pinchando cada bolsa con la aguja del equipo. El resultado corresponde al porcentaje de CO₂ y O₂ generado en el ambiente que se crea dentro de la bolsa.

2.3. Generadores de anhídrido sulfuroso

Para la aplicación del gas se utilizaron generadores de anhídrido sulfuroso (SO₂) los cuales están constituidos por dos láminas de papel con polietileno, permitiendo una emisión controlada de SO₂ tan pronto como el ingrediente activo entra en contacto con la humedad. El ingrediente activo de los generadores de SO₂ marca Osku, corresponde a metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅) (98%) y 2% de ingredientes inertes. Los generadores de SO₂ se ubicaron arriba de los envases, en la parte exterior y fueron cubiertos por las bolsas. Para determinar la concentración aérea de SO₂ dentro de las bolsas, se utilizó una máquina de medición marca Multi Rae modelo GA24XT, con un rango de medición de 0 a 20 ppm.

2.4. Tratamientos

Se evaluaron dos factores, uso de bolsa atmósfera modificada (con y sin bolsa) y concentraciones de SO₂, generadas con dosis de 0, 1 y 2 g de Na₂S₂O₅, en almacenaje en cámara refrigerada a 0°C. Totalizando seis tratamientos producto de la combinación de los factores (Tabla 1).

Tabla 1

Tratamientos utilizados en el experimento

Tratamientos	Bolsa atmósfera	Dosis Na ₂ S ₂ O ₅ (g)
T1(Control)	Sin bolsa	0
T2	Sin bolsa	1
T3	Sin bolsa	2
T4	Con bolsa	0
T5	Con bolsa	1
T6	Con bolsa	2

2.5. Evaluaciones

Los parámetros evaluados correspondieron a: pudrición gris, causada por el hongo *B. cinerea*, pérdida de peso por deshidratación, sólidos solubles y blanqueamiento de frutos producido por gas de SO₂. Las evaluaciones se hicieron a través del tiempo (7, 14, 21 y 28 días) obteniendo resultados para los distintos períodos de almacenaje.

Incidencia de pudrición gris. Para determinar la existencia de pudrición gris, se cuantificó la presencia del patógeno *B. cinerea* en la fruta. El análisis se hizo de forma visual, contando el número de frutos con presencia del hongo.

La variable de respuesta correspondió al crecimiento fungoso, cuantificado después de cada período de almacenaje, considerando un periodo adicional de tres días a una temperatura aproximada de 20 °C, para la correcta identificación del hongo *B. cinerea*. Se consideraron como frutos infectados, aquellos que presentaron signos y síntomas del patógeno, desde piel suelta hasta micelio visible. La identificación fue posible con la observación de las características distintivas del hongo, como el color blanquecino del micelio o sus estructuras reproductivas como conidióforos y conidias que lo diferencian de los demás hongos. Cuando la identificación visual no fue tan evidente, se utilizó una lupa estereoscópica binocular Lancet, modelo XTX-7CW.

Pérdida de peso por deshidratación. Se hizo el pesaje de todas las repeticiones al inicio y término de cada período de almacenaje, con una balanza de precisión marca Target modelo SP-2000. Se registraron todos los pesos iniciales y finales. Y el cálculo de pérdida de peso se hizo por diferencia del registro de peso inicial y peso final de cada tratamiento expresada como porcentaje.

Sólidos solubles. Previo a la distribución de los tratamientos se hizo una primera medición de sólidos solubles, con el objetivo de determinar la homogeneidad de

la madurez de los arándanos. Para determinar la concentración de sólidos solubles de cada tratamiento, se utilizó un refractómetro manual autocompensado para 20 °C, marca Grandindex modelo RHB-32ATC.

La variable de respuesta correspondió al porcentaje de sólidos solubles medido después de cada periodo de almacenaje.

Daño por SO₂ en frutos. El daño por SO₂ se determinó por medio de un análisis visual y cuantificación del número de frutos con daño. Esta cuantificación consistió en la separación de aquellos frutos que presentaron sobre un 10% de blanqueamiento en epidermis.

2.6. Diseño experimental

Se utilizó un experimento completamente aleatorio con un factorial de 2 x 3, producto del uso o no uso de atmósfera modificada y por 3 niveles de Na₂S₂O₅ (0, 1 y 2 g) totalizando seis tratamientos, con tres repeticiones cada uno. Los datos fueron analizados mediante el programa computacional estadístico SPSS, versión 15. Se aplicó la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) y se analizó la homogeneidad de varianzas (estadístico de Levene). Para observar las diferencias significativas de los resultados se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA) y cuando se detectaron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey a un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0,05$). La unidad experimental correspondió a un envase con capacidad de 500 g, con 260 frutos en su interior. Los datos de porcentajes fueron normalizados usando una transformación mediante el cálculo de arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje.

3. Resultados y discusión

3.1. Porcentaje de CO₂ y O₂

En la Tabla 2, se presentan las concentraciones de CO₂ y O₂ generadas en bolsa atmósfera modificada con frutos de arándanos, el cual indica que no hubo un incremento controlado de la concentración

de estos gases a través del tiempo (7, 14, 21 y 28 días) obteniendo concentraciones diferentes para distintos periodos de almacenaje. La concentración de O₂ dentro de la bolsa atmósfera modificada fue de aproximadamente 19,5%, marcando una diferencia mínima con el O₂ ambiental atmosférico que corresponde a 21%. Según Alsmairat *et al.* (2011), niveles bajos de O₂ sólo benefician al arándano evitando la fermentación y no en la disminución de la síntesis de etileno como experimenta un fruto climatérico normal, porque en el arándano el etileno se produce en el momento de la cosecha. Por otra parte, atmósferas con O₂ elevado (60 a 100%) inhiben significativamente la aparición de enfermedades de postcosecha (Zheng *et al.*, 2008).

Tabla 2

Concentración de gases en bolsas atmósfera modificada con frutos de arándano alto (*V. corymbosum*) cultivar Emerald

Tratamiento	Gas	7 días	14 días	21 días	28 días
Sin Na ₂ S ₂ O ₅	O ₂ (%)	19,8	19,4	19,6	19,9
	CO ₂ (%)	6,0	5,0	8,0	5,0
	SO ₂ (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0
1 g Na ₂ S ₂ O ₅	O ₂ (%)	19,7	19,7	19,9	19,5
	CO ₂ (%)	6,0	4,0	7,0	8,0
	SO ₂ (ppm)	0,3	0,3	1,0	2,7
2 g Na ₂ S ₂ O ₅	O ₂ (%)	19,0	19,6	19,6	19,2
	CO ₂ (%)	7,0	5,0	7,0	8,0
	SO ₂ (ppm)	0,3	0,7	2,0	4,7

A diferencia del O₂, el CO₂ aumentó considerablemente dentro de la bolsa, con valores entre 5 a 8%; marcando una diferencia mayor con el CO₂ ambiental atmosférico que corresponde a 0,03%.

Concentraciones de CO₂ mayores a 10% (Bounous *et al.*, 1997), 12% según Alsmairat *et al.* (2011), reportan beneficios en el control de pudriciones, de una menor pérdida de peso y arrugamiento de frutos (Schotsmans *et al.*, 2007), pero atmósferas

con CO₂ muy elevado (24%), perjudican el valor comercial de los frutos (Cantín *et al.*, 2012), provocando ablandamiento y pérdidas de firmeza (Schotsmans *et al.*, 2007; Duarte *et al.*, 2009; Alsmairat *et al.*, 2011; Moggia *et al.*, 2012), así también, la calidad sensorial, olor y sabor disminuyen (Van der Steen *et al.*, 2002). Según Kader (2002), los berries presentan una tolerancia de 15% de CO₂ como máximo y una tolerancia de 2 a 3% de O₂ como mínimo. La fruta de los tratamientos con bolsa atmósfera modificada presentó buena apariencia, sin daños u olores atribuibles a CO₂ y O₂, lo que evidenció un buen funcionamiento de la atmósfera proporcionada en cada período de almacenaje.

3.2 Concentración de SO₂ (generadores)

Las concentraciones de SO₂ de los tratamientos fueron bajas (Tabla 2), no superando los 4,7 ppm a los 28 días de almacenaje. Se observa un incremento en la concentración de SO₂ a través del tiempo (7, 14, 21 y 28 días); además, este incremento es marcado por una dosis mayor de Na₂S₂O₅. Los generadores de SO₂ son apropiados para períodos prolongados de almacenaje entre 12 y 40 días, entregando el gas en forma dosificada, constante y a una concentración baja entre 5 a 10 ppm (Castillo, 2004). Altas concentraciones de SO₂ pueden producir daños y pérdidas de firmeza en los frutos (Cantín *et al.*, 2012), además el SO₂ puede causar alergia en individuos sensibles (Timbo *et al.*, 2004).

3.3 Incidencia de pudrición gris

La incidencia de pudrición gris en frutos de arándanos fue influenciada en forma significativa ($p \leq 0,05$) debido al SO₂ y la bolsa atmósfera modificada, tanto a nivel de factores como en las interacciones. El análisis factorial demuestra que los tratamientos con Na₂S₂O₅ reducen significativamente la incidencia de pudrición gris de frutos de arándano respecto al tratamiento control tanto a los

7, 14, 21 y 28 días de almacenaje, efecto similar se observó con el uso de atmósfera modificada. De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el SO₂ presenta un gran potencial en postcosecha de arándanos, inhibe la proliferación de conidias presentes en la superficie del fruto y evita que la enfermedad avance, controlando el micelio de los frutos enfermos sobre los frutos sanos (Zoffoli, 2002).

El análisis de las interacciones (Tabla 3), sugiere que los frutos de arándanos almacenados en bolsa atmósfera modificada más la aplicación de SO₂ mediante metabisulfito de sodio, presentaron un menor porcentaje de pudrición gris comparado con el tratamiento control, lo que se hizo más evidente conforme pasaban los días de almacenaje.

Tabla 3

Efecto del SO₂ y bolsa atmósfera modificada, sobre el porcentaje de pudrición gris, en frutos de arándano alto (*V. corymbosum*) cultivar Emerald en almacenaje a 0°C + 3 días a 20°C

Tratamiento	Pudrición gris (%)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
Sin bolsa, sin Na ₂ S ₂ O ₅	1,40 a	2,16 a	2,96 a	4,86 a
Sin bolsa, con 1 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,13 b	0,26 bc	0,66 c	1,16 c
Sin bolsa, con 2 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,13 b	0,26 bc	0,66 c	1,03 c
Con bolsa, sin Na ₂ S ₂ O ₅	0,13 b	0,53 b	1,30 b	2,43 b
Con bolsa, con 1 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,00 c	0,00 d	0,00 d	0,13 d
Con bolsa, con 2 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,00 c	0,00 d	0,00 d	0,00 e

Columnas con letras distintas indican diferencias significativas según análisis estadístico de Tukey ($p \leq 0,05$).

Mediante el SO₂ aplicado con 2 g de Na₂S₂O₅ no se detectaron síntomas ni signos del patógeno *B. cinerea* en los frutos almacenados en atmósfera modificada, mientras que con 1 g Na₂S₂O₅ los arándanos presentaron solamente un 0,13% de pudrición gris luego de 28 días de almacenaje. En el análisis de condición

se observó fruta con presencia de micelio de *B. cinerea*, con predominio en la zona de inserción pedicelar, lo que concuerda con lo expuesto por Zoffoli *et al.* (2013), quienes afirman que los síntomas de pudrición gris se presentan como piel suelta en epidermis del fruto, pero predominan como infecciones sobre la herida que se produce al desprender la fruta desde el pedicelo en la etapa de cosecha.

En un estudio realizado por Pretel *et al.* (2006) en uva de mesa, utilizando generadores (97,5 mL 100 mL⁻¹ Na₂S₂O₅) colocados en la superficie de las cajas, con un ambiente enriquecido con CO₂, lograron disminuir las pérdidas de peso, textura, color, y retrasaron el ataque de hongos. Zutahy *et al.* (2008), para 5 kg de uva de mesa utilizaron un generador de fase rápida (fungicida) con 1 g y otro de fase lenta (fungistático) con 9 g obteniendo buenos resultados disminuyendo la incidencia de pudrición gris con un porcentaje bajo de blanqueamiento. Por otra parte, estudios realizados por Rivera *et al.* (2013b), indicaron que la prevalencia de pudrición gris en arándanos cultivar Brigitta y Liberty fue de 97,2 a 97,5% en fruta sin tratamiento y de un 7,9 a 6,1% en arándanos que fueron expuestos a concentraciones de SO₂, comprobando que es una tecnología importante para la reducción de *B. cinerea* en los frutos de arándano. Smilanick y Henson (1992), en frutos de uva de mesa, indican que la temperatura aumenta la toxicidad del SO₂ en contra de *B. cinerea*, las dosis de SO₂ aplicadas en cámara que matan el 99% de las esporas de pudrición gris corresponden a 78,3 ppm h⁻¹ a 0 °C y 20,3 ppm h⁻¹ a 20 °C.

3.4 Pérdida de peso por deshidratación

El factor atmósfera modificada fue el que incidió significativamente ($p \leq 0,05$) sobre la deshidratación de los frutos almacenados, no así el SO₂. La evaluación de condición de los tratamientos donde no se utilizó bolsa atmósfera modificada, mostró síntomas de marchitamiento y

ablandamiento de frutos, debido a la pérdida de peso por deshidratación, la cual alcanzó un 4,83% al final de 28 días de almacenaje (Tabla 4). Este marchitamiento, según Godoy (2004), se produce cuando las frutas pierden contenidos de humedad mayores al 5 a 10%, en un proceso que se denomina plasmólisis celular. Figueroa *et al.* (2010), afirman que con un 3 a 5% de pérdida de peso, se produce arrugamiento en la fruta y basta un 5% para que los frutos de arándano presenten bajo valor comercial. El porcentaje de pudriciones se correlaciona positivamente con la presencia de este marchitamiento (Cantín *et al.*, 2012).

De acuerdo a los resultados (Tabla 4), se observó una disminución del peso por deshidratación, a medida que aumentaron los días de almacenaje. Por otra parte, respecto a los tratamientos, existe una deshidratación significativa ($p \leq 0,05$) para cada uno de los períodos de almacenaje (7, 14, 21, 28 días) en los tratamientos sin bolsa, contrastando con los resultados de menor pérdida de peso debido a la bolsa atmósfera modificada, alcanzando el valor mínimo promedio de 0,7% de pérdida en el tratamiento con bolsa y 2 g Na₂S₂O₅. Para arándanos cultivar Emerald, las bolsas de atmósfera modificada permitieron disminuir en alrededor de un 4% el porcentaje de pérdida de peso por deshidratación, manteniendo una fruta turgente y fresca luego de 28 días de almacenaje.

Cabe destacar que un estudio de la Fundación para el desarrollo frutícola (2013), se mencionan valores de deshidratación de 4,7% en Brigitta y de 5,3% en Elliot luego de 42 días de almacenaje, los que disminuyen considerablemente con el uso de bolsas, llegando a un 2,6% en el caso de Elliot con bolsas macro y micro perforadas y a un 0,1% con bolsas atmósfera modificada en Brigitta. Estas diferencias son notorias a partir de los 14 días de almacenaje.

Según Moggia *et al.* (2012), debido a los altos porcentajes de deshidratación en postcosecha, los empacadores se ven

obligados a incrementar el peso inicial de los pocillos hasta en un 10%, disminuyendo el volumen de cajas exportables.

Tabla 4

Efecto del SO₂ y bolsa atmósfera modificada, sobre el porcentaje de pérdida de peso por deshidratación, en frutos de arándano alto (*V. corymbosum*) cultivar Emerald

Tratamiento	Deshidratación en frutos de arándanos en almacenaje de 0°C (%)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
	Sin bolsa, sin Na ₂ S ₂ O ₅	2,00 a	2,70 a	3,50 a
Sin bolsa, con 1 g Na ₂ S ₂ O ₅	2,36 a	2,60 a	3,63 a	5,06 a
Sin bolsa, con 2 g Na ₂ S ₂ O ₅	2,23 a	2,60 a	3,40 a	4,96 a
Con bolsa, sin Na ₂ S ₂ O ₅	0,10 b	0,56 b	0,56 b	0,80 b
Con bolsa, con 1 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,20 b	0,66 b	0,43 b	0,80 b
Con bolsa, con 2 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,20 b	0,56 b	0,56 b	0,70 b

Columnas con letras distintas indican diferencias significativas según análisis estadístico de Tukey ($p \leq 0,05$).

Es importante destacar que la cutícula y la presencia de cera del fruto juegan un papel esencial en evitar la desecación (Lara *et al.*, 2014); por otra parte, la cicatriz del pedúnculo corresponde a una importante vía de pérdida de humedad (Ehlenfeldt, 2002). La mantención de una alta humedad relativa (>95%) minimiza la pérdida de peso y el arrugamiento de arándanos, pero puede provocar un aumento de pudrición y descomposición fisiológica (Forney, 2009). Los altos niveles de pérdida de humedad de arándanos se relacionan con una menor firmeza (Paniagua *et al.*, 2013a), los frutos firmes son signo de fresca y aseguran un mayor período de almacenaje postcosecha, mientras que el ablandamiento aumenta el ataque de patógenos (Zapata *et al.*, 2010) y da lugar a importantes pérdidas en postcosecha (Giongo *et al.*, 2013).

Algunos cultivares de arándano presentan diferentes susceptibilidades a la

deshidratación (Cantín *et al.*, 2012) y a la pérdida de firmeza (Hancock *et al.*, 2008). Según Paniagua *et al.* (2013b), en arándanos highbush cv. Burlington mencionan pérdidas de peso menores a 1 a 2% lo cual coincide con un 50 y 80% de frutos firmes; mientras que pérdidas de peso de 4 a 14% muestran tendencia de inducir ablandamiento. Los retrasos en la refrigeración tienen efectos sobre la pérdida de peso, mientras que las variaciones de temperatura afectan la firmeza (Paniagua *et al.*, 2014). La reducción de la firmeza de los arándanos se relaciona con el aumento del contenido de pectina soluble en agua y una disminución de pectina soluble en carbonato de sodio, celulosa y hemicelulosa (Chen *et al.*, 2015).

3.5 Sólidos solubles

Para la variable sólidos solubles no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en su concentración ya sea a nivel de los factores o de sus interacciones (Tabla 5), para cada período de almacenaje (7, 14, 21, 28 días). Estos resultados coinciden con otros estudios en los que se utilizó atmósferas con distintas concentraciones de CO₂ y O₂ (Forney *et al.*, 2003; Harb y Streif, 2004, Schotsmans *et al.*, 2007, Duarte *et al.*, 2009) y otros con distintas concentraciones de SO₂ (Almenar *et al.*, 2008; Chiabrando y Giacalone, 2011; Cantín *et al.*, 2012) y en su interacción (Cantín *et al.*, 2012), en los que no hubo diferencias en la concentración de sólidos solubles de arándanos. En otras especies como la uva de mesa tampoco se han observado modificaciones en sólidos solubles debido a la atmósfera modificada y al SO₂ (Pretel *et al.*, 2006; Ustun *et al.*, 2012). Las variaciones nulas de concentración de sólidos solubles podrían ser explicadas debido a que el arándano no posee almidón que aporte a la síntesis de azúcares solubles luego de la cosecha (Bello *et al.*, 2012).

El registro de sólidos solubles, antes de la distribución de los tratamientos, de la presente investigación, indicó una

concentración en rangos de 13 a 14%. Según Figueroa *et al.* (2010), los arándanos deben ser cosechados con niveles de sólidos solubles en rango de 12 a 14%. Godoy (2004), establece que arándanos con 11% de sólidos solubles no presentan dulzor, además son demasiado inmaduros. Pero existen diferencias en la concentración de sólidos solubles entre cultivares (Yang *et al.*, 2009). Según Pérez *et al.* (2011), sólidos solubles corresponden a un parámetro de importancia considerando que el azúcar: glucosa y fructosa, favorecen la incidencia de hongos en postcosecha, por esta razón debe fluctuar entre 10 y 13%. El almacenamiento a bajas temperaturas según Chiabrando *et al.* (2009), inhibe la disminución de los sólidos solubles totales de los arándanos.

Tabla 5

Efecto del SO₂ y bolsa atmósfera modificada, sobre el porcentaje de sólidos solubles, en frutos de arándano alto (*V. corymbosum*) cultivar Emerald

Tratamiento	Sólidos solubles en frutos de arándanos en almacenaje de 0°C (%)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
Sin bolsa, sin Na ₂ S ₂ O ₅	13,7 a	13,7 a	13,7 a	13,3 a
Sin bolsa, con 1 g Na ₂ S ₂ O ₅	13,3 a	13,3 a	13,3 a	13,7 a
Sin bolsa, con 2 g Na ₂ S ₂ O ₅	14,0 a	13,3 a	14,0 a	14,0 a
Con bolsa, sin Na ₂ S ₂ O ₅	13,7 a	13,7 a	13,7 a	14,0 a
Con bolsa, con 1 g Na ₂ S ₂ O ₅	13,7 a	13,7 a	14,0 a	13,7 a
Con bolsa, con 2 g Na ₂ S ₂ O ₅	13,7 a	14,0 a	13,7 a	13,3 a

Columnas con letras distintas indican diferencias significativas según análisis estadístico de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.6 Daño por SO₂ en frutos

Ambos factores en estudio incidieron significativamente sobre el daño por SO₂ en los frutos ($p \leq 0,05$), como también sus interacciones (Tabla 6), el daño se fue acentuando en la medida que transcurrió el tiempo de almacenaje. En el análisis visual

de condición se observó fruta dañada por SO₂, este daño correspondió a aproximadamente un 10% de tonalidades blanquecinas y deprimidas en la zona del pedúnculo de los frutos. Estas zonas y las heridas en la piel de frutos, corresponden a vías de acceso para que el gas produzca daños. Los primeros problemas de blanqueamiento aparecen en la fruta almacenada por 14 días en bolsa atmósfera modificada, con un 2,43% para 1 g Na₂S₂O₅ y un 3,93% para 2 g Na₂S₂O₅. El mayor daño, 11,66%, se observó en el tratamiento en bolsa, con 2 g Na₂S₂O₅.

Tabla 6

Efecto del SO₂ y bolsa atmósfera modificada, sobre el porcentaje de blanqueamiento, en frutos de arándano (*V. corymbosum*) cultivar Emerald

Tratamiento	Blanqueamiento en frutos de arándanos en almacenaje de 0°C (%)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
Sin bolsa, sin Na ₂ S ₂ O ₅	0,00 a	0,00 c	0,00 e	0,00 d
Sin bolsa, con 1 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,00 a	0,00 c	2,03 d	2,16 c
Sin bolsa, con 2 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,00 a	0,00 c	2,83 c	2,96 c
Con bolsa, sin Na ₂ S ₂ O ₅	0,00 a	0,00 c	0,00 e	0,00 d
Con bolsa, con 1 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,00 a	2,43 b	4,86 b	7,16 b
Con bolsa, con 2 g Na ₂ S ₂ O ₅	0,00 a	3,93 a	7,03 a	11,66 a

Columnas con letras distintas indican diferencias significativas según análisis estadístico de Tukey ($p \leq 0,05$).

A partir de los 14 días el blanqueamiento de los frutos por SO₂ indicó efectos significativos ($p \leq 0,05$) debido al Na₂S₂O₅, porcentaje que se incrementó al combinarse con la bolsa atmósfera modificada, existiendo un efecto aditivo y sinérgico entre ambos factores. Este incremento se ha correlacionado con la concentración de SO₂ y el tiempo de exposición de la fruta al gas (Gao *et al.*, 2003).

Los resultados obtenidos de esta investigación demostraron que los tratamientos con dosis elevadas de

Na₂S₂O₅ reducen la proliferación fungosa, pero actúan en desmedro de la calidad del producto, provocando blanqueamiento de frutos. Lo que concuerda con Castillo (2004), el cual dice que a mayor gramaje del generador disminuye la pudrición, pero aumenta el blanqueamiento de frutos. Al respecto, Rivera *et al.* (2013b) observaron tolerancia al daño por SO₂ fumigado en cámara a 20 °C en cultivar Brigitta, Legacy, Liberty y Oneal, pero esta tolerancia bajó con dosis incrementadas de 40 a 60 ppm h⁻¹. Resultados similares a los de Kim *et al.* (2010) y Cantín *et al.* (2012) que presentaron daños en frutos cuando se incrementó la dosis de SO₂. Rivera *et al.* (2013b) explican que esta tolerancia al SO₂ a altas temperaturas no puede extrapolarse a SO₂ que es aplicado a baja temperatura y en condiciones de alta humedad cuando se utiliza generadores con metabisulfito de sodio.

4. Conclusiones

Para arándanos cultivar Emerald, las bolsas de atmósfera modificada permitieron disminuir en alrededor de un 4% el porcentaje de pérdida de peso por deshidratación, manteniendo una fruta turgente, firme y fresca, luego de 28 días de almacenaje. No se presentaron problemas de fermentación, es decir, los frutos no presentaron olores extraños ni pérdidas de sabor debido a la atmósfera modificada y al SO₂. Por lo que equivale a una tecnología con gran potencial para el almacenaje de arándanos en postcosecha. El SO₂ presentó gran eficacia al disminuir significativamente la incidencia de pudrición gris en los frutos de arándanos, hasta un 5% comparado con el testigo. Sin embargo, los tratamientos con SO₂ resultaron en daños de blanqueamiento comprometiendo la calidad del fruto, por lo que, dadas las circunstancias, no sería recomendable la utilización de generadores de SO₂ con 1 y 2 g de metabisulfito de sodio, en frutos de arándano dentro de bolsas atmósfera modificada. La concentración de sólidos solubles de los frutos de arándanos no fue afectada por la

atmósfera modificada ni por el SO₂ aplicado durante el período de almacenaje.

5. Referencias bibliográficas

- Agrios, G. 1998. Enfermedades de las plantas causadas por hongos. P. 256-530. In Noriega editores. Fitopatología, 3ª edición. Editorial Limusa. México D.F., México.
- Almenar, E.; Auras, R.; Rubino, M.; Harte, B. 2007. A new technique to prevent the main post harvest diseases in berries during storage: Inclusion complexes β -cyclodextrin-hexanal. International Journal of Food Microbiology 118: 164-172.
- Almenar, E.; Samsudin, H.; Auras, R.; Harte, B.; Rubino, M. 2008. Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package. Food Chemistry 110: 120-127.
- Alsmairat, N.; Contreras, C.; Hancock, J.; Callow, P.; Beaudry, R. 2011. Use of combinations of commercially relevant O₂ and CO₂ partial pressures to evaluate the sensitivity of nine highbush blueberry fruit cultivars to controlled atmospheres. Hort Science 46: 74-79.
- Anco, D.; Ellis, M. 2011. Fruit rots of blueberry: *Alternaria*, *Anthraco*, and *Botrytis*. The Ohio State University Extension 3213:1-2.
- Ansari, M.; Tuteja, N. 2015. Post-harvest quality risks by stress/ethylene: management to mitigate. Protoplasma 252: 21-32.
- Bello, F.; Almirón, N.; Beltramini, N.; Vázquez, D. 2012. Comportamiento postcosecha de variedades patentadas de arándanos cultivadas en Entre Ríos (Argentina). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 13: 31-36.
- Benito, E.; Arranz, M.; Eslava, A. 2000. Factores de patogenicidad de *Botrytis cinerea*. Revista Iberoamericana de Micología 17: 43-46.
- Bounous, G.; Giacalone, G.; Guarinoni, A.; Peano, C. 1997. Modified atmosphere storage of highbush blueberry. Acta Horticulturae 446: 197-204.
- Cantín, C.; Minas, I.; Goulas, V.; Jiménez, M.; Manganaris, G.; Michailides, T.; Crisosto, C. 2012. Sulfur dioxide fumigation alone or in combination with CO₂-enriched atmosphere extends the market life of highbush blueberry fruit. Postharvest Biology and Technology 67: 84-91.
- Cantín, C.; Palou, L.; Bremer, V.; Michailides, T.; Crisosto, C. 2011. Evaluation of the use of sulfur dioxide to reduce postharvest losses on dark and green figs. *Postharvest Biology and Technology* 59: 150-158.
- Castillo, K. 2004. Efecto de tres tipos de envases y dos generadores de anhídrido sulfuroso sobre la condición de uva de mesa cv. Thompson seedless, en almacenaje refrigerado. 62 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile.
- Chen, H.; Cao, S.; Fang, X.; Mu, H.; Yang, H.; Wang, X.; Xu, Q.; Gao, H. 2015. Changes in fruit firmness, cell wall composition and cell wall degrading enzymes in postharvest blueberries during storage. Scientia Horticulturae 188: 44-48.
- Chen, L.; Ingham, B.; Ingham, S. 2004. Survival of *Penicillium expansum* and patulin production on stored apples after wash treatments. Journal of Food Science 69: 669-675.
- Chiabrando, V.; Giacalone, G.; Rolle, L. 2009. Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage. Journal of the Science of Food and Agriculture 89: 989-992.
- Chiabrando, V.; Giacalone, G. 2011. Shelf-life extension of highbush blueberry using 1-methylcyclopropene stored

- under air and controlled atmosphere. *Food Chemistry* 126: 1812-1816.
- Crisosto, C.; Palou, L.; Garner, D.; Armson, D. 2002. Concentration by time product and gas penetration after marine container fumigation of table grapes with reduced doses of sulfur dioxide. *Hort Technology* 12: 241-245.
- De Long, J.; Prange, R.; Bishop, C.; Harrison, P.; Ryan, D. 2003. The influence of 1-MCP on shelf-life quality of highbush blueberry. *Hort Science* 38: 417-418.
- Duan, J.; Wu, R.; Strik, B.; Zhao, Y. 2011. Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest Biology and Technology* 59: 71-79.
- Duarte, C.; Guerra, M.; Daniel, P.; Camelo, A.; Yommi, A. 2009. Quality changes of highbush blueberries fruit stored in CA with different CO₂ levels. *Journal of Food Science* 74: 154-159.
- Eccher, T.; Carotti, E.; Gibin, M. 2010. Controlled-atmosphere storage of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*) and rabbiteye blueberries (*V. ashei*). *Acta Horticulturae* 857: 373-380.
- Ehlenfeldt, M. 2002. Postharvest research and technology in *Vaccinium*. *Acta Horticulturae* 574: 31-38.
- Fan, L.; Forney, C.; Song, J.; Doucette, C.; Jordan, M.; McRae, K.; Walker, B. 2008. Effect of hot water treatments on quality of highbush blueberries. *Journal of Food Science* 73: 292-297.
- Fundación para el desarrollo frutícola, FDF. 2013. Pilotos demostrativos en manejos de postcosecha de arándanos. Informe final. 55 p.
- Figuroa, D.; Guerrero, J.; Bensch, T. 2010. Efecto de momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la calidad en postcosecha de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.), cvs. Berkeley, Brigitta y Elliot durante la temporada 2005-2006. *Idesia* 28: 79-84.
- Fonseca, S.; Oliveira, F.; Brecht, J. 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering* 52: 99-119.
- Forney, C.; Jordan, M.; Nicholas, K.U.K.G. 2003. Effects of CO₂ on physical, chemical, and quality changes in 'Burlington' blueberries. *Acta Horticulturae* 600: 587-593.
- Forney, C. 2009. Postharvest issues in blueberry and cranberry and methods to improve market life. *Acta Horticulturae* 810: 785-798.
- France, A. 2012. Enfermedades de postcosecha en arándanos: reconocimiento y manejo. *Revista Frutícola, Copefrut S.A.* 3(12): 29-34.
- Franck, J.; Latorre, B.; Torres, R.; Zoffoli, J. 2005. The effect of preharvest fungicide and postharvest sulfur dioxide use on postharvest decay of table grapes caused by *Penicillium expansum*. *Postharvest Biology and Technology* 37: 20-30.
- Gao, H.; Hu, X.; Liu, L.; Zhang, H.; Wang, S. 2003. Study on sensitivity of table grapes to SO₂. *Acta Horticulturae* 628: 541-545.
- Giongo, L.; Poncetta, P.; Loretto, P.; Costa, F. 2013. Texture profiling of blueberries (*Vaccinium* spp.) during fruit development, ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology* 76: 34-39.
- Godoy, C. 2004. Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones de frío convencional. *Revista FCA UNCuyo* 36: 53-61.
- Hancock, J.; Callow, P.; Sercxe, S.; Hanson, E.; Beaudry, R. 2008. Effect of cultivar, controlled atmosphere storage, and fruit ripeness on the long-term storage of highbush blueberries. *HortTechnology* 18: 199-205.
- Harb, J.; Streif, J. 2004. Controlled atmosphere storage of highbush blueberries cv. 'Duke'. *European Journal of Horticultural Science* 69: 66-72.
- Holz, G.; Gutschow, M.; Coertze, S.; Calitz, F. 2003. Occurrence of *Botrytis cinerea* and subsequent disease suppression at different positions on leaves and bunches of grape. *Plant Disease* 87: 351-358.
- Juillerat, F. 2014. Arándanos, calidad y condición en destino. Seminario optimización de manejos tecnológicos de postcosecha para aumentar el potencial de almacenaje y mejorar la competitividad de arándanos de exportación. 23 de octubre 2014. Fundación para el desarrollo frutícola. Chillán, Chile. Disponible en: http://www.fdf.cl/biblioteca/presentaciones/2014/pdt_arandanos/postcosecha.htm
- Kader, A.; Watkins, C. 2000. Modified atmosphere packaging: toward 2000 and beyond. *HortTechnology* 10: 483-486.
- Kader, A. 2010. Future of modified atmosphere research. *Acta Horticulturae* 857: 213-217.
- Kader, A. 2002. Modified atmospheres during transport and storage. P. 135-144. *In* Kader, A.A. (Ed.). *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California. Publication 3311. 3rd Edition. Oakland, USA.
- Kim, T.; Silva, J.; Tokitkla, A.; Matta, F. 2010. Modified atmosphere storage influences quality parameters and shelf life of 'Tifblue' blueberries. *Journal of the Mississippi Academy of Sciences* 55: 143-148.
- Lara, I.; Belge, B.; Goulao, L. 2014. The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. *Postharvest Biology and Technology* 87: 103-112.
- Latorre, B. 1999. *Enfermedades de las plantas cultivadas*. 646 p. 5ª edición. Editorial Alfaomega. Santiago, Chile.
- Martínez-Romero, D.; Guillén, F.; Castillo, S.; Valero, D.; Serrano, M. 2003. Modified atmosphere packaging maintains quality of table grapes. *Journal of Food Science* 68: 1838-1843.
- Mehra, L.; MacLean, D.; Shewfelt, R.; Smith, K.; Scherm, H. 2013. Effect of postharvest biofumigation on fungal decay, sensory quality, and antioxidant levels of blueberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 85: 109-115.
- Moggia, C.; Lobos, G.; Retamales, J. 2012. Beneficios del uso de atmósfera modificada para el almacenaje prolongado de arándanos. *Revista Frutícola Copefrut S.A.* 3(12): 37-40.
- Moggia, C.; Lobos, G.; Retamales, J. 2014. Modified atmosphere packaging in blueberries: effect of harvest time and moment of bag sealing. *Acta Horticulturae* 1017: 153-158.
- Nielsen, T.; Leufvén, A. 2008. The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. *Food Chemistry* 107: 1053-1063.
- Palou, L.; Crisosto, C.; Garner, D.; Basinal, L.; Smilanick, J.; Zoffoli, J. 2002. Minimum constant sulfur dioxide emission rates to control gray mold of cold-stored table grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* 53: 110-115.
- Paniagua, A.; East, A.; Heyes, J. 2013a. Effects of delays in cooling on blueberry quality outcomes. *Acta Horticulturae* 1012: 1493-1498.
- Paniagua, A.; East, A.; Hindmarsh, J.; Heyes, J. 2013b. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biology and Technology* 79: 13-19.
- Paniagua, A.; East, A.; Heyes, J. 2014. Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere

- conditions during blueberry storage on quality outcomes. *Postharvest Biology and Technology* 95: 50-59.
- Peelman, N.; Ragaert, P.; De Meulenaer, B.; Adons, D.; Peeters, R.; Cardon, L.; Van Impe, F.; Devlieghere, F. 2013. Application of bioplastics for food packaging. *Food Science and Technology* 32: 128-141.
- Pérez, S.; Ferrada, E.; Guerrero, J.; Bensch, E. 2011. Hongos frecuentes en arándano en postcosecha. *Revista Frutícola del Sur de Chile. Berries and Cherries* 10: 31-34.
- Perkins-Veazie, P.; Collins, J.; Howard, L. 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biology and Technology* 47: 280-285.
- Pretel, M.; Martínez, M.; Martínez, J.; Carreño, J.; Romojaró, F. 2006. Prolonged storage of 'Aledo' table grapes in a slightly CO₂ enriched atmosphere in combination with generators of SO₂. *LWT- Food Science and Technology* 39: 1109-1116.
- Rivera, A.; Zoffoli, J.; Latorre, B. 2013a. Infection risk and critical period for the postharvest control of gray mold (*Botrytis cinerea*) on blueberry in Chile. *Plant Disease* 97: 1069-1074.
- Rivera, A.; Zoffoli, J.; Latorre, B. 2013b. Determination of optimal sulfur dioxide time and concentration product for postharvest control of gray mold of blueberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 83: 40-46.
- Rosas, F. 2014. Berries frescos y procesados perspectivas 2014/2015. p. 1-28. *Seminario Berries*. 26 de agosto 2014. Hotel Casino. Chile alimentos. Talca, Chile.
- Rosenfeld, H.; Roed, K.; Haffner, K.; Sundell, H. 1999. MAP of highbush blueberries: sensory quality in relation to storage temperature, film type and initial high oxygen atmosphere. *Postharvest Biology and Technology* 16: 27-36.
- Sandhya, S. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *Postharvest Biology and Technology* 43: 381-392.
- Schotsmans, W.; Molan, A.; MacKay, B. 2007. Controlled atmosphere storage of rabbiteye blueberries enhances postharvest quality aspects. *Postharvest Biology and Technology* 44: 277-285.
- Siracusa, V.; Rocculi, P.; Romani, S.; Dalla, M. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Food Science and Technology* 19: 634-643.
- Smilanick, J.; Henson, D. 1992. Minimum gaseous sulphur dioxide concentrations and exposure periods to control *Botrytis cinerea*. *Crop Protection* 11: 535-540.
- Song, Y.; Ku Kim, H.; Yam, K. 1992. Respiration rate of blueberry in modified atmosphere at various temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117: 925-929.
- Song, Y.; Vorsa, N.; Yam, K. 2002. Modeling respiration transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry. *Journal of Food Engineering* 53: 103-109.
- Timbo, B.; Koehler, K.; Wolyniak, C.; Klontz, K. 2004. Sulfites a food and drug administration review of recalls and reported adverse events. *Journal of Food Protection* 67: 1806-1811.
- Trigo, M.; Sousa, M.; Sapata, M.; Ferreira, A.; Curado, T.; Andrada, L.; Ferreira, E.; Antunes, C.; Horta, M.; Pereira A.; Botelho, M.; Veloso, G. 2006. Quality of gamma irradiated blueberries. *Acta Horticulturae* 715: 573-577.
- Ustun, D.; Candir E.; Ozdemir, A.; Kamiloglu, O.; Soyulu, E.; Dilbaz, R. 2012. Effects of modified atmosphere packaging and ethanol vapor treatment on the chemical composition of 'Red Globe' table grapes during storage. *Postharvest Biology and Technology* 68: 8-15.
- Van der Steen, C.; Jacxsens, L.; Devlieghere, F.; Debevere, J. 2002. Combining high oxygen atmospheres with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries. *Postharvest Biology and Technology* 26: 49-58.
- Wang, Y.; Long, L. 2014. Respiration and quality responses of sweet cherry to different atmospheres during cold storage and shipping. *Postharvest Biology and Technology* 92: 62-69.
- Wang, Y.; Chen, C.; Yin, J. 2010. Effect of allyl isothiocyanate on antioxidants and fruit decay of blueberries. *Food Chemistry* 120: 199-204.
- Wu, V.; Kim, B. 2007. Effect of a simple chlorine dioxide method for controlling five foodborne pathogens, yeasts and molds on blueberries. *Food Microbiology* 24: 794-800.
- Yang, G.; Yue, J.; Gong, X.; Qian, B.; Wang, H.; Deng, Y.; Zhao, Y. 2014. Blueberry leaf extracts incorporated chitosan coatings for preserving postharvest quality of fresh blueberries. *Postharvest Biology and Technology* 92: 46-53.
- Yang, W.; Harpole, J.; Finn, C.; Strik, B. 2009. Evaluating berry firmness and total soluble solids of newly released highbush blueberry cultivars. *Acta Horticulturae* 810: 863-868.
- Zagory, D. 1997. Advances in modified atmosphere packaging (MAP) of fresh produce. *Perishables Handling Newsletter Issue* 90: 2-4.
- Zapata, L.; Malleret, A.; Quinteros, C.; Lesa, C.; Vuarant, C.; Rivadeneira, M.; Gerard, J. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 21: 159-171.
- Zheng, Y.; Yang, Z.; Chen, X. 2008. Effect of high oxygen atmospheres on fruit decay and quality in Chinese bayberries, strawberries and blueberries. *Food Control* 19: 470-474.
- Zoffoli, J.; Latorre, B.; Naranjo, P. 2008. Hairline, a postharvest cracking disorder in table grapes induced by sulfur dioxide. *Postharvest Biology and Technology* 47: 90-97.
- Zoffoli, J.; Latorre, B.; Rodríguez, J.; Aguilera, J. 2009. Biological indicators to estimate the prevalence of gray mold and hairline cracks on table grapes cv. Thompson Seedless after cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 52: 126-133.
- Zoffoli, J.; Latorre B.; Rivera, S.; Rodríguez, J. 2013. Antecedentes para optimizar el manejo de postcosecha de arándanos. *Revista Frutícola, Copefrut S.A.* 3(12): 29-37.
- Zoffoli, J. 2002. Optimización del uso de anhídrido sulfuroso en la conservación de uva de mesa. *Revista Simiente* 72: 32-33.
- Zutahy, Y.; Lichter, A.; Kaplunov, T.; Lurie, S. 2008. Extended storage of 'Red Globe' grapes in modified SO₂ generating pads. *Postharvest Biology and Technology* 50: 12-17.