

# Ozono gaseoso en la conservación de las características de calidad en arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.)

## Gaseous ozone on quality characteristics of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.)

Carlos Varese Moreno<sup>1</sup> Luis Márquez Villacorta<sup>2</sup>  
Carla Pretell Vásquez<sup>3</sup>

Recibido: 12 de noviembre de 2015

Aceptado: 10 de diciembre de 2015

### Resumen

Se evaluó el efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso sobre las características de calidad en arándanos. Los frutos fueron cosechados en el fundo Armonía de la provincia de Virú (La Libertad) perteneciente a la empresa Tal S.A., inmediatamente se trasladaron al laboratorio de tecnología de alimentos de la Universidad Antenor Orrego, donde se seleccionaron, clasificaron, pesaron y dividieron en 3 grupos, colocados en bandejas "clamshell" con tapa ventilada, luego expuestos al ozono durante 10 y 20 minutos, y almacenados a 1 °C durante 30 días. Se consideró una muestra control. En un intervalo de 10 días fueron evaluadas las características de calidad. El efecto del tiempo de

exposición al ozono y el tiempo de almacenamiento sobre las variables estudiadas fue significativo ( $p < 0,05$ ). El tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 minutos permitió obtener la menor pérdida de peso y contenido de sólidos solubles, así como, la mayor firmeza, luminosidad y aceptabilidad general al final del almacenamiento. Además, con 20 minutos de exposición al ozono se obtuvo el mayor contenido de antocianinas totales y menor recuento de mohos y levaduras.

**Palabras clave:** Arándanos, ozono gaseoso, mínimo proceso.

### Abstract

The effect of gaseous ozone on quality characteristics of blueberries was evaluated. The fruits were harvested in the farm Armonia of the province of Viru - La Libertad belonging to the company Tal S.A, immediately moved to the food technology laboratory of the Antenor Orrego University. The fruits were selected, classified, weighed and were divided into 3 groups, placed in trays "clamshell" with vented cap, then exposed to ozone during 10 and 20 minutes stored at 1 ° C for 30 days, considering a control sample. In an interval of 10 days they were evaluated quality characteristics. The effect of time

of exposure to ozone and storage time on the variables studied was significant ( $p < 0.05$ ). The time of exposure to gaseous ozone of 10 min allowed the lowest weight loss and soluble solids content, as well as, the strongest brightness and overall acceptability to the end of storage. Also, with 20 min of exposure to ozone, the highest content of total anthocyanins and less yeast and mold count it was obtained.

**Keywords:** blueberries, gaseous ozone, minimally processing.

1. Ingeniero en Industrias Alimentarias. Supervisor de Acopio en Danper Trujillo S.A.C.

2. Ingeniero en Industrias Alimentarias. Maestro en Ciencias con Mención en Tecnología de Alimentos. Docente Universidad Privada Antenor Orrego (lmarquezv@upao.edu.pe)

3. Ingeniera en Industrias Alimentarias. Maestra en Ciencias con Mención en Tecnología de Alimentos. Docente Universidad Privada Antenor Orrego.

## I. INTRODUCCIÓN

Las frutas presentan una tendencia a deteriorarse por razones mecánicas, fisiológicas, biológicas y ambientales. En este sentido para disminuir estas pérdidas y poder satisfacer la creciente demanda, es de suma importancia el cuidado en la manipulación de estos productos perecibles, tanto en su ciclo productivo, como después de su recolección. El desarrollo y la evaluación de tecnologías de manejo postcosecha, que a su vez garantizan la inocuidad de los productos, constituye un objetivo importante a considerar (Seminario y otros, 2010).

La ruptura de las células por golpes en la fruta entera permite que las enzimas entren en contacto con sustancias de las cuales normalmente se encuentran separadas. Como consecuencia, se producen una serie de reacciones químicas que conducen al deterioro de las células. El tejido dañado frecuentemente se torna marrón o negro debido a la síntesis de melanina. La producción de olores y sabores atípicos y desagradables es también una característica de los tejidos afectados (González-Aguilar y otros, 2005).

Los daños físicos en la fruta facilitan la invasión por microorganismos e incrementa la pérdida de agua en el producto. Ciertos patógenos producen o inducen la formación de enzimas que hidrolizan las paredes celulares, ocasionando un ablandamiento de los tejidos y una degradación de toda la fruta. Los tejidos de la fruta pueden decolorarse por la síntesis de ciertas sustancias que se producen como respuesta al ataque de estos microorganismos (Andrade-Cuvi y otros, 2010).

Los arándanos llamados "Blueberries", son frutos que poseen atractivas características y propiedades nutricionales, por representar una importante fuente de antioxidantes y de vitaminas, entre otras. Sus beneficios sobre la salud son los que principalmente han generado un aumento en su demanda durante los últimos años en los mercados internacionales, convirtiéndolo en un producto muy atractivo para la industria frutícola de exportación. El arándano poco a poco ha ido pasando de ser un producto de nicho o de consumo de lujo, a un producto de consumo más masivo, con mayores oportunidades de mercado (Scheihing, 2005; ADEX, 2013).

Las antocianinas pertenecen al grupo de flavonoides, son metabolitos secundarios de los vegetales, que presentan actividad antioxidante. Las antocianinas, que le confieren el color azul a frutos como el arándano, intervienen en el metabolismo celular humano disminuyendo la acción de los radicales libres, asociados al envejecimiento, cáncer, enfermedades cardíacas y Alzheimer (Coria y otros, 2008; Scheihing, 2005). Estos pigmentos que son poco estables, pueden degradarse en el tejido fresco, en el procesado o almacenamiento. En los frutos, las antocianinas (glucósidos) se localizan principalmente en la cáscara, y en menor medida en la pulpa (Jara, 2012).

A pesar de los riesgos que conlleva, las fresas y berries no son lavadas antes de salir al mercado, debido al efecto negativo en la calidad y reducción en la vida postcosecha que ello produce; por tanto, se ha hecho necesario evaluar tecnologías como el ozono que no destruyan o comprometan la integridad del producto. La aplicación de ozono gaseoso es una alternativa estudiada en frutos como fresa, durazno, manzana, mandarina y frambuesa entre otros (Sandoval, 2013).

La industria alimentaria dirige sus investigaciones al desarrollo de tecnologías y a la aplicación de desinfectantes seguros y efectivos, por lo tanto, existe demanda de tecnologías de procesamiento mínimo, tales como la alta presión, irradiación, pulsos eléctricos, ultrasonido de potencia, ozono y los campos magnéticos oscilantes. El interés reciente en estas tecnologías es no sólo para obtener alimentos de alta calidad con características frescas, sino también, para proporcionar alimentos con funcionalidades mejoradas (Rawson y otros, 2011). El ozono, dado su elevado poder germicida y su descomposición espontánea a oxígeno, se ha convertido en un potencial agente para garantizar la seguridad microbiológica y la calidad de los alimentos (Bataller y otros, 2010). En Estados Unidos el ozono es considerado un producto GRAS (generalmente reconocido como seguro) y es aprobado para ser usado como agente antimicrobiano (Xu, 2008; Pascual y otros, 2007).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso sobre las características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras, y aceptabilidad general de arándanos durante el almacenamiento.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales y análisis fueron realizadas en el laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad Privada Antenor Orrego.

### 2.2 Materia prima

Arándanos frescos (*Vaccinium Corymbosum* L.) cv. Biloxi proporcionados por la empresa Tal S.A, provenientes del fundo Armonía ubicado en el km 497 de la Panamericana Norte. Las bayas fueron cosechadas manualmente en plena madurez sensorial, se seleccionaron considerando la ausencia de daños físicos e infección por hongos, luego se clasificó en base a sus atributos de calidad como uniformidad de tamaño de 13-15 mm de diámetro y madurez color (azul intenso) en 90-100% del fruto.

### 2.3 Acondicionamiento y ozonización de las muestras

Se pesó aproximadamente 150 g de bayas por cada tratamiento, utilizando una balanza semianalítica y registrando el valor, después se envasaron los frutos

en bandejas tipo "clamshell" colocadas en una cabina de vidrio de 99 cm largo, 59 cm ancho, 66 cm alto y espesor 1 cm, la cual estuvo conectada mediante una tubería de 14 mm de diámetro al equipo generador de ozono (flujo de 500 mg/h) marca Ozonomatic S.A.; donde recibieron los tratamientos de 0, 10 y 20 minutos (equivalente a una concentración de 0, 35 y 65 ppm, respectivamente). Finalmente los frutos fueron almacenados a 1°C con una humedad relativa entre 85-90% durante 30 días, para ser evaluados periódicamente (0, 10, 20 y 30 días) en pérdida de peso, sólidos solubles, firmeza, color, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general.

## 2.4 Métodos analíticos

**Pérdida de peso.** Se determinó periódicamente pesando antes y después de cada periodo de almacenamiento. Los resultados fueron expresados como porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial (Godoy, 2004).

**Sólidos solubles.** Se determinaron utilizando un refractómetro de mano (0-32% sólidos solubles), marca Atago, calibrado a 20 °C (Godoy, 2004).

**Color.** Se utilizó el sistema CIELAB, usando el colorímetro Kónica-Minolta, modelo CR-400. El equipo fue calentado durante 10 minutos y calibrado con un blanco estándar. Se determinó el parámetro de luminosidad  $L^*$  ( $L^*=0$  para negro y  $L^*=100$  para blanco), reportándose el promedio de 5 valores (Pérez, 2003; Nunes y otros, 2004).

**Firmeza.** Se determinó de manera instrumental, se reportó un promedio de 5 valores por cada tratamiento, para cuyo efecto se utilizó un texturómetro Instron modelo 3342. Los parámetros del ensayo fueron tomados de (Zapata, 2010) con algunas modificaciones:

Modo: medida de fuerza en compresión.  
Opción: retorno al inicio.  
Velocidad de pretest: 1.0 mm/s.  
Velocidad de test: 1.0 mm/s.  
Velocidad de postest: 10.0 mm/s.

**Contenido de antocianinas totales.** Se utilizó el método por diferencia de pH, según lo indicado por Kuskoski y otros (2005), el cual se describe a continuación.

La extracción de las antocianinas se realizó colocando 10 g de muestra en 40 mL de etanol grado alimentario al 80% acidificando con HCl 0.1 M (pH 2), bajo agitación magnética en sombra durante 2 h. Los extractos fueron centrifugados a 4200 rpm por 15 min y separados los sobrenadantes.

Se utilizaron dos sistemas tampón: ácido clorhídrico/cloruro de potasio de pH 1.0 (0.025 M) y ácido acético/acetato sódico de pH 4.5 (0.4 M). A 0.2 mL de una muestra diluida (para conseguir una absorbancia en el rango de 0.1-1.2 a 510 nm), se añadieron 1.8 mL

de la correspondiente solución tampón y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro frente a un blanco a 510 y 700 nm. Se calculó la absorbancia final a partir de:

$$A = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 1.0} - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 4.5}$$

La concentración de pigmentos monoméricos en el extracto se expresó en cianidina 3-glucósido.

$$\frac{A \times PM \times FD \times 100}{\epsilon \times 1}$$

Antocianinas monoméricas (mg/100 g) =

Donde:

A: absorbancia  
PM: peso molecular  
FD: factor de dilución  
 $\epsilon$ : absortividad molar

La concentración final de antocianinas (mg/100 g muestra fresca) se calculó en base al volumen de extracto y peso de muestra. Se expresó en cianidina 3-glucósido (PM: 449.2 y  $\epsilon$ : 26900).

**Recuento total de bacterias aerobias mesófilas viables.** Se separaron asepticamente 10 g de muestra que se homogenizaron en 90 mL de agua peptonada al 0.1%. Una serie de diluciones fueron preparadas en 9 mL de agua peptonada con 1 mL de alícuota y se extendió en la superficie del medio selectivo. El medio Agar Sabouraud se usó para el recuento de mohos y levaduras. Los recuentos de sus colonias se enumeraron luego de una incubación a 21 °C por 2 días. Los resultados se reportaron en ufc/g (Wei y otros, 2005).

## 2.5 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de las variables paramétricas (pérdida de peso, sólidos solubles, firmeza, color, contenido de antocianinas totales y recuento de mohos y levaduras) fueron evaluados mediante un diseño completamente al azar: 3 tiempos de exposición al ozono gaseoso (0, 10 y 20 minutos) x 4 tiempos de almacenamiento (0, 10, 20 y 30 días), utilizando el análisis de varianza. Los datos obtenidos en la evaluación de la aceptabilidad general evaluados mediante las pruebas no paramétricas de Friedman y Wilcoxon. Se trabajó con tres repeticiones y un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . Se utilizó el programa SPWA para Windows (Statistical Package for The Social Sciences), versión 18.0 (SPSS Inc., 2009).

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Pérdida de peso

La pérdida de peso en los arándanos aumentó con el tiempo de almacenamiento (figura 1), siendo la velocidad de merma siempre mayor en la muestra control, en comparación, a las tratadas con ozono gaseoso, lo que nos indica que este tratamiento postcosecha redujo la pérdida de agua en forma de vapor del tejido vegetal. La menor pérdida de peso al día 30 de almacenamiento se produjo en frutos expuestos a 10 min de ozono (8.40%), mientras que la muestra control presentó 11.26% de pérdida de peso al final del almacenamiento.

El agua es el componente más abundante de los frutos, encontrándose en niveles comprendidos entre 89 y 94%. Los frutos son altamente sensibles a la deshidratación a través de la piel, esta pérdida de agua se ve además favorecida por la degradación de la membrana y la pared celular (James y Ngarmsak, 2010). Las frutas que presentan una elevada velocidad de respiración, producen pérdidas de agua que implican arrugamiento, disminución de peso y descenso de la calidad sensorial y valor comercial, afectando la firmeza y jugosidad del fruto (Beltrán, 2010).

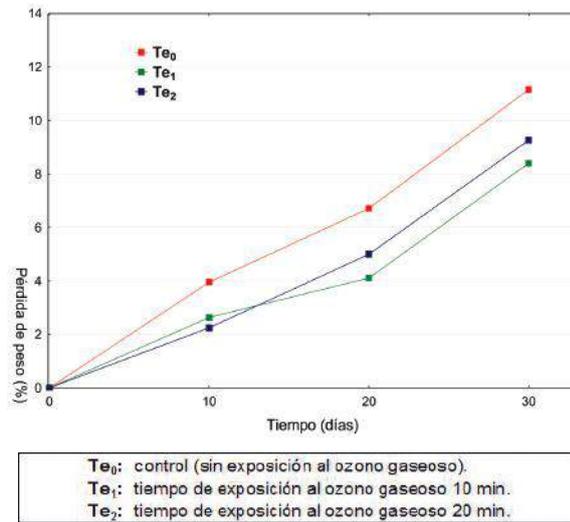


Figura 1. Pérdida de peso en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.

La condiciones recomendadas para la aplicación de ozono gaseoso son temperaturas de refrigeración y alta humedad relativa (HR 90%), debido a que fa-

vorecen su estabilidad y efectividad del gas, además de reducir la variación de presión de vapor entre el producto y el medio ambiente, disminuyendo la pérdida de agua por transpiración (Bataller y otros, 2010).

Un comportamiento similar en la pérdida de peso fue observado en papaya expuesta al ozono gaseoso (1.5 y 2.5 ppm) y almacenados a 25 °C durante 12 días (Ali y otros, 2013); y en calabacines tratados con 0.3 ppm de ozono gaseoso almacenados a 8 °C durante 6 días (Glowacz y otros, 2015).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) del tiempo de exposición al ozono y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso (cuadro 1).

**Cuadro 1. Análisis de varianza para la pérdida de peso en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.**

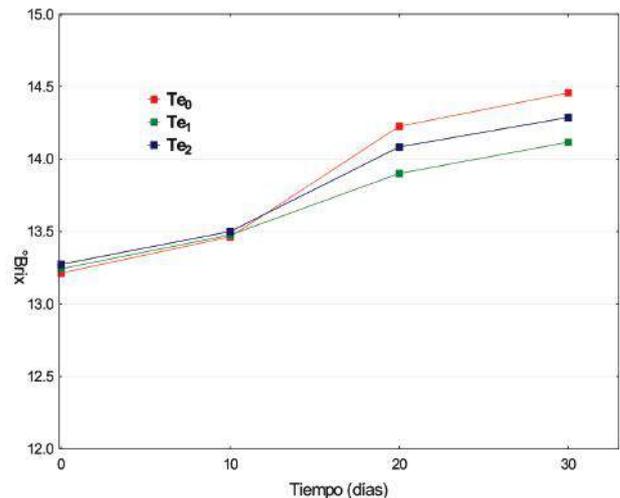
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo exposición	18.727	2	9.364	163.177	0.000
Tiempo de almacenamiento	444.090	3	148.030	2.579.668	0.000
Interacción	8.569	6	1.428	24.889	0.000
Error	1.377	24	0.057		
Total	472.764	35			

Ali y otros (2013) determinaron el efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la pérdida de peso en papayas expuestas a ozono gaseoso durante 12 días de almacenamiento a 25°C. Glowacz y otros (2015) encontraron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la pérdida de peso para calabacines expuestos ozono gaseoso durante 6 días de almacenamiento a 8°C.

### 3.2 Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles en arándanos tratados con ozono gaseoso aumentó en función del tiempo de almacenamiento tal como se observa en la figura 2 para los diferentes tratamientos. Las muestras tratadas con ozono tuvieron el menor incremento durante los 30 días de almacenamiento, en comparación, con la muestra control, con valores de 14.12 ° Brix para frutos expuestos a 20 minutos de ozonización y 14.46° Brix para el control. Lo cual indica un mayor avance en el proceso de senescencia en los arándanos sin tratamiento postcosecha, asimismo, su correlación con la pérdida de peso de los frutos acorde al avance de los días de almacenamiento.

Los sólidos solubles están relacionados con el sabor de los frutos y son un indicador del momento de la cosecha en arándano azul. Son el conjunto de determinados azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), ácidos orgánicos (ácido ascórbico, ácido málico, ácido cítrico y ácido succínico), compuestos fenólicos, antocianinas, etc., cuyas proporciones dependen de la variedad estudiada (Montti, 2010). El contenido de azúcar tiende a aumentar con la maduración de los frutos. La pérdida de peso y agua en frutas durante el almacenamiento debe ser siempre considerado para la interpretación de los valores de los sólidos solubles (Hernández-Muñoz y otros, 2008).



Te<sub>0</sub>: control (sin exposición al ozono gaseoso).  
 Te<sub>1</sub>: tiempo de exposición al ozono gaseoso 10 min.  
 Te<sub>2</sub>: tiempo de exposición al ozono gaseoso 20 min.

Figura 2. Sólidos solubles en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.

Un comportamiento similar en los sólidos solubles fue observado en uvas de mesa variedad *Crimson seedles* tratadas con ozono gaseoso a 0.6 ppm durante 2 minutos, y almacenados a 5 °C durante 23

días (Artés-Hernández y otros, 2010); en pimientos rojos expuestos a ozono gaseoso (0.1 y 0.3 ppm) y almacenados a 14°C durante 14 días (Glowacz y otros, 2015).

El análisis de varianza indicó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) del tiempo de exposición al ozono y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles (cuadro 2).

**Cuadro 2. Análisis de varianza para sólidos solubles en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo exposición	0.150	2	0.075	16.558	0.000
Tiempo de almacenamiento	6.466	3	2.155	475.135	0.000
Interacción	0.192	6	0.032	7.037	0.000
Error	0.109	24	0.005		
Total	6.916	35			

Glowacz y otros (2015) encontraron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en el contenido de sólidos solubles para pimientos rojos expuestos a 0.1 y 0.3 ppm de ozono gaseoso durante 14 días de almacenamiento a 14°C.

### 3.3 Firmeza

La firmeza, medida como la fuerza de penetración, en los arándanos fue disminuyendo a medida que transcurrieron los días (figura 3). Al transcurrir el tiempo se observó que existió una ligera disminución entre el día 0 al día 20, siendo más pronunciada esta tendencia al final del almacenamiento, sobre todo en el tratamiento sin exposición al ozono gaseoso que presentó

1.58 N, en comparación, a la muestra de frutos expuestos a 10 min de ozono que mostraron el mayor valor con 1.93 N.

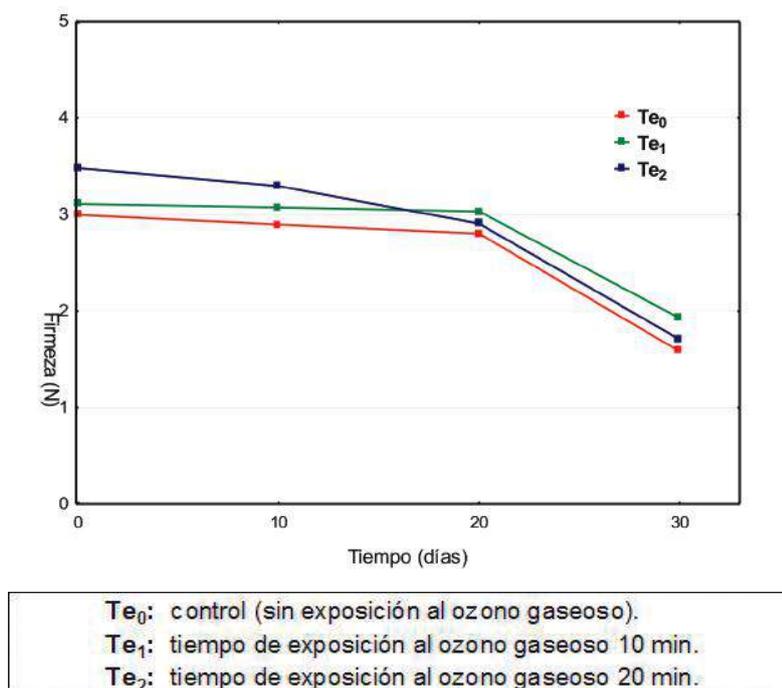


Figura 3. Firmeza en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.

Durante la maduración de la fruta uno de los cambios más notables es el ablandamiento, que está relacionado con las alteraciones bioquímicas de la pared celular, de la lámina media y a niveles de la membrana (Pérez, 2003). La pérdida de firmeza constituye uno de los cambios fisicoquímicos más significativos y está asociado a la pérdida de agua generada a través de la transpiración y respiración del fruto, como consecuencia se produce marchitamiento y pérdida de la consistencia (Acuña, 2009). La firmeza de las frutas es un importante atributo de calidad que está afectado por la acción de enzimas como la fenilalanina aminoliasa (PAL) y la β-1,3-D glucanasa (Cote, 2011).

La firmeza es un atributo importante en los arándanos, debido a que estos frutos son muy perecederos. Una baya firme es signo de frescura y permite asegurar un mayor período de almacenamiento y una mejor llegada a destino. Por el contrario, se sabe que el ablandamiento aumenta la susceptibilidad al daño mecánico y al ataque de patógenos (Zapata y otros, 2010).

Un comportamiento similar en la retención de la firmeza fue observado en papaya expuesta al ozono gaseoso a 1.5 ppm y 2.5 ppm, almacenada a 25 °C durante 12 días (Ali y otros, 2013), y en frutos de caqui rojo brillante con aplicación de ozono gaseoso (0.15 ppm) durante 35 días a 15 °C (Salvador y otros, 2009).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) del tiempo de exposición al ozono y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza (cuadro 3).

**Cuadro 3. Análisis de varianza para la firmeza en hongos arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo exposición	0.511	2	0.255	106.008	0.000
Tiempo de almacenamiento	12.245	3	4.082	1.694.864	0.000
Interacción	0.373	6	0.062	25.817	0.000
Error	0.058	24	0.002		
Total	13.187	35			

Ali y otros (2013) encontraron efecto significativo ( $p < 0.05$ ), en la firmeza para papaya expuesta a 1.5 y 2.5 ppm de ozono gaseoso durante 12 días de almacenamiento a 25°C. Salvador y otros (2009) encontraron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la firmeza para frutos de caqui rojo brillante expuestos a 0.15 ppm de ozono gaseoso durante 35 días de almacenamiento a 15°C.

### 3.4 Color

El color en los arándanos expresado en el valor de luminosidad disminuyó moderadamente durante el almacenamiento (figura 4). Los frutos tratados con ozono a un tiempo de exposición de 10 min, mostró el valor más alto de luminosidad a los 30 días de almacenamiento con 24.91, mientras que la muestra control, presentó 22.85.

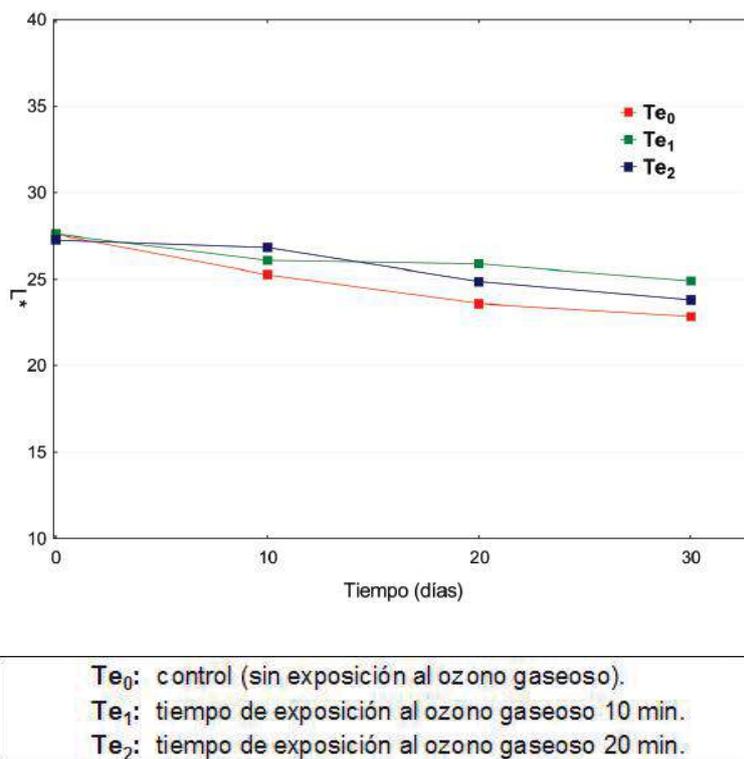


Figura 4. Luminosidad ( $L^*$ ) en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.

La disminución del valor de luminosidad en arándanos luego del almacenamiento puede ocasionarse debido a la pérdida de la pruina, o capa cerosa que actúa como una protección del interior de la baya, ya que evita la pérdida de humedad y retarda la degradación del fruto (Nunes y otros, 2004).

En los frutos de arándano los compuestos que proporcionan el color azul-violeta oscuro en la epidermis son las antocianinas. Dichos compuestos se desarrollan durante el proceso de maduración del fruto, por lo que el color dependerá del momento de cosecha; además de las condiciones de almacenamiento, temperatura y tiempo de exposición del ozono gaseoso (Sandoval, 2013). Las muestras tratadas con ozono gaseoso presentaron un efecto positivo para la luminosidad. El ozono tiene la capacidad para destruir el etileno y como consecuencia de ello conservar el color durante el almacenamiento en las frutas (Salvador y otros, 2005).

Un comportamiento similar en la retención de la luminosidad fue observado en papayas expuestas al ozono gaseoso (1.5 y 2.5 ppm) y almacenadas a 25 °C durante 12 días (Ali y otros, 2013); en uvas de mesa variedad *Crimson seedles* tratadas con ozono gaseoso (0.6 ppm) y exposición de 2 min almacenadas a 5 °C durante 23 días (Artés-Hernández y otros; 2010); y en zanahorias (*Dacus carota* L.) expuestas a ozono gaseoso (15  $\mu\text{L/L}$ ) almacenadas a 2 °C durante 28 días (Chiam y otros (2004).

El análisis de varianza indicó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la luminosidad (cuadro 4).

**Cuadro 4. Análisis de varianza para la luminosidad en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo exposición	10.600	2	5.300	136.311	0.000
Tiempo de almacenamiento	68.075	3	22.692	583.627	0.000
Interacción	7.837	6	1.306	33.593	0.000
Error	0.933	24	0.039		
Total	87.445	35			

Ali y otros (2013) determinaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la luminosidad ( $L^*$ ) para papaya expuesta a 1.5 y 2.5 ppm de ozono gaseoso durante 12 días de almacenamiento a 25 °C. Artés-Hernández y otros (2010) encontraron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la luminosidad ( $L^*$ ) para uvas de mesa variedad *Crimson seedles* expuestas a 0.6 ppm de ozono gaseoso y tiempo de exposición de 2 min durante 23 días de almacenamiento a 5°C.

### 3.5 Antocianinas totales

En la figura 5, se puede observar que el contenido de antocianinas totales en arándanos tratados con ozono gaseoso, fue incrementando conforme transcurrieron los días de almacenamiento en todos los tratamientos.

La exposición al ozono gaseoso causó un efecto benéfico sobre las células de las bayas de arándanos induciendo el aumento del contenido de antocianinas totales en las muestras tratadas, en comparación, con la muestra control. La tendencia de incremento del contenido de antocianinas totales fue mantenida durante el almacenamiento, encontrándose al día 30 valores de 98.94 y 96.24 mg/100 g para las muestras tratadas con ozono gaseoso a un tiempo de exposición de 20 minutos y 10 min, respectivamente. La muestra control presentó un valor de 87.24 mg/100 g.

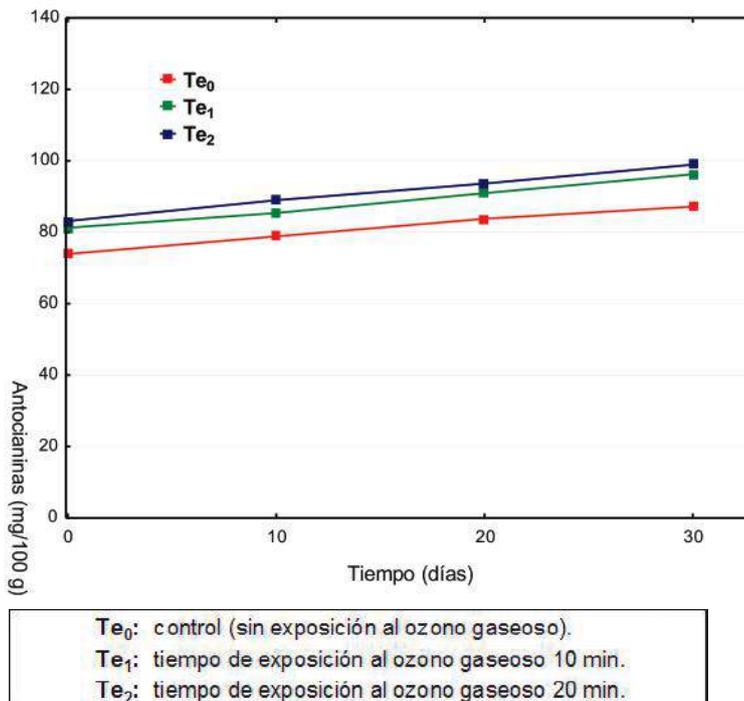


Figura 5. Contenido de antocianinas totales en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.

Estos resultados obtenidos se pueden explicar debido a la reacción de activación que los tratamientos con ozono producen en la fenilalanina aminoliasa (PAL), que es una de las enzimas claves para la síntesis de compuestos fenólicos en tejidos vegetales. El incremento de compuestos fenólicos y flavonoides en las frutas también se puede atribuir a la modificación de la pared celular que ocurre durante la exposición al ozono, esta modificación puede producir un incremento en la capacidad de extracción y liberación de compuestos fenólicos conjugados en la pared celular (Alothman y otros, 2010).

En el caso de los arándanos las antocianinas están localizadas en la piel y en la pulpa, siendo las responsables del color azul oscuro de esta fruta. El contenido de antocianinas y fenoles es mayor en la piel de los frutos de arándano, pudiendo ser 4 veces mayor al contenido de estos en el fruto entero. El nivel de antocianinas en frutas de arándanos puede variar entre 25 y 495 mg de cianidina 3-glucósido/100 g de fruta fresca (Pino, 2007).

Keutgen y Pawelzik (2007) reportaron valores del contenido de antocianinas totales en fresas expuestas a ozono gaseoso (15.6 ppm) y almacenadas a 24°C durante 5 días, encontrándose valores de 19.02 mg/100 g para las muestras tratadas, en comparación, con la muestra control que presentaron 17.76 mg/100 g.

El análisis de varianza indicó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de antocianinas totales (cuadro 5).

**Cuadro 5. Análisis de varianza para el contenido de antocianinas totales en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
Tiempo exposición	672.468	2	336.234	1.296.990	0.000
Tiempo de almacenamiento	1.086.622	3	362.207	1.397.180	0.000
Interacción	8.429	6	1.405	5.419	0.001
Error	6.222	24	0.259		
Total	1.773.740	35			

Keutgen y Pawelzik (2007) encontraron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el contenido de antocianinas totales para fresas expuestas a 15.6 ppm de ozono gaseoso durante 5 días de almacenamiento a 24°C.

### 3.6 Recuento de mohos y levaduras

Al transcurrir los días de almacenamiento aumentó el recuento de mohos y levaduras en todos los tratamientos. El recuento inicial para la muestra control fue superior a los presentados por los arándanos tratados con ozono (figura 6), evidenciándose la acción antifúngica de este tratamiento postcosecha (0.4 – 0.6 ciclos logarítmicos). La muestra control al final del almacenamiento, denotó un valor de  $2.16 \times 10^4$ , en comparación, con las muestras sometidas al agente desinfectante gaseoso, que mostraron recuentos de  $1.0 \times 10^4$  y  $9.10 \times 10^3$  ufc/g, para 10 y 20 min de exposición, respectivamente.

Los mohos son los principales causantes de podredumbres en las frutas. El crecimiento fúngico continúa en los productos frescos después de la cosecha y causa lesiones que alteran el aspecto de los productos vegetales. La tecnología de ozono gaseoso a diferentes concentraciones ha sido ampliamente utilizada para la esterilización y reducción de microorganismos vegetativos y esporulados en productos alimenticios (Selma y otros, 2008). El ozono es muy reactivo con la mayoría de los constituyentes que se encuentran en las paredes celulares y membranas que sirven de barreras protectoras a los microorganismos, originando la oxidación de estos componentes que conlleva a la ruptura o inactivación celular (Seminario y otros, 2010).

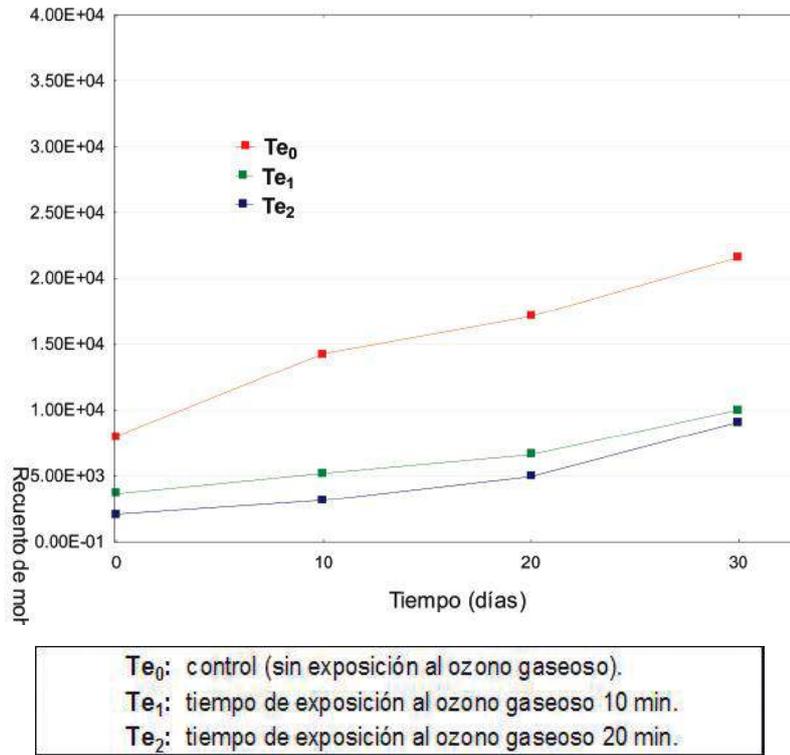


Figura 6. Recuento de mohos y levaduras en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.

Selma y otros (2008) reportaron que los cubos de melón mínimamente procesados con exposición al ozono gaseoso (5000 y 20000 ppm) durante 30 min, presentaron una reducción de la población de levaduras de 25118 a 6309 ufc/g, y 25118 a 5011 ufc/g; respectivamente. Sarig y otros (2007) estudiaron la aplicación de ozono gaseoso durante 20 min en racimos de uvas, observando una considerable reducción de colonias de bacterias, hongos, levaduras y pérdidas de pudrición. Estos resultados fueron atribuidos a la actividad antimicrobiana del ozono.

El análisis de varianza indicó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre el recuento de mohos y levaduras (cuadro 6).

**Cuadro 6. Análisis de varianza para el recuento de mohos y levaduras en arándanos tratados con ozono gaseoso almacenados a 1°C.**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo exposición	1.837	2	0.919	498.603	0.000
Tiempo de almacenamiento	1.207	3	0.402	218.449	0.000
Interacción	0.076	6	0.013	6.919	0.000
Error	0.044	24	0.002		
Total	3.165	35			

Öztekin y otros (2005) determinaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en el crecimiento de mohos y levaduras para higos secos expuestos a 1, 5 y 10 ppm de ozono gaseoso y tiempo de exposición 0, 3 y 5 horas.

### 3.7 Aceptabilidad general

La evaluación de la aceptabilidad general se realizó mediante la aplicación de una escala hedónica de nueve puntos. Según la percepción de los panelistas indicadas en la cartilla de evaluación, entre los días 0 y 20 de almacenamiento, se observó una tendencia decreciente, sin embargo, los panelistas indicaron que las muestras tratadas con ozono presentaron los mayores valores de aceptabilidad distinguiendo un sabor dulce y poco ácido característico del arándano, así como, una firmeza táctil rígida,

teniendo percepciones de me gusta ligeramente y me gusta bastante, lo que corresponde una puntuación de 6 y 7, para los 10 y 20 minutos de exposición al agente gaseoso, respectivamente.

Por otro lado al día 30 de almacenamiento existe un ligero incremento en los valores de percepción, donde se observó que las muestras control y 20 minutos de exposición al ozono denotaron menor aceptación, porque los panelistas percibieron en los frutos un sabor menos dulce, un poco más ácido y una firmeza semiblanda, presentando percepciones de ni me gusta ni me disgusta, lo que corresponde una puntuación de 5 puntos. Los frutos tratados con 10 min de exposición al ozono, presentaron al final del almacenamiento una percepción positiva en la escala hedónica con 6.30 puntos.

En el cuadro 7 se presenta los resultados de la prueba Friedman para la aceptabilidad general en función del tiempo de exposición al ozono y tiempo de almacenamiento en arándanos, denotándose solamente efecto significativo ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos a los 30 días.

**Cuadro 7. Prueba de Friedman para la aceptabilidad general en arándanos tratados con ozono gaseoso.**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono (min)	Media	Rango promedio	Moda	Chi-cuadrado	P
0	0	6.53	1.85	7	1.742	0.419
	10	6.83	2.15	7		
	20	6.70	2.00	7		
10	0	6.47	1.95	6	0.289	0.866
	10	6.67	2.07	7		
	20	6.53	1.98	6		
20	0	5.33	1.83	5	2.557	0.278
	10	5.60	2.20	6		
	20	5.37	1.97	5		
30	0	5.90	1.82	6	7.043	0.030
	10	6.30	2.35	6		
	20	5.90	1.83	5		

Artés-Hernández y otros (2010) evaluaron la aceptabilidad general en uvas de mesa variedad *Crimson seedles* donde determinaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) siendo la concentración de ozono gaseoso a 0.6 ppm y tiempo de exposición de 2 min, la que presentó mayor calificación con un promedio de 6.5 puntos (ligeramente bueno), al final de los 23 días de almacenamiento a 5°C.

En el cuadro 8, se presenta la Prueba de Wilcoxon, la cual es usada para obtener información complementaria a la Prueba de Friedman, comparándose el tratamiento de mayor puntuación con los demás. Se demostró que a los 30 días de almacenamiento, los arándanos sometidos a 10 min de exposición al ozono presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con los otros tratamientos, por tanto, resultaron los mejores en cuanto a percepción sensorial.

**Cuadro 7. Prueba de Wilcoxon para la aceptabilidad general en arándanos tratados con ozono gaseoso.**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono (min)	Z	p	
30	0	10	-2.035	0.042
	20	20	-0.016	0.987
	10	20	-2.558	0.011

#### **IV. CONCLUSIONES**

- Existió un efecto significativo del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso, contenido de sólidos solubles, firmeza, color, contenido de antocianinas totales, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general en arándanos.
- El tratamiento 10 minutos de exposición al ozono gaseoso, presentó la mayor luminosidad, firmeza y aceptabilidad general; así como, el menor contenido de sólidos solubles y pérdida de peso en arándanos durante 30 días de almacenamiento.
- El tratamiento 20 minutos de exposición al ozono gaseoso, denotó el mayor contenido de antocianinas totales y menor recuento de mohos y levaduras a los 30 días de almacenamiento en arándanos.

#### **V. BIBLIOGRAFÍA**

Acuña, J. 2009. Preservación de pepinos mediante el empleo de coberturas de quitosan. Universidad de la Habana. Tesis para título en Licenciatura en Ciencias Alimentarias.

Ali, A.; Kying, M. y Forney, C. 2013. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. *Food Chemistry*, 142: 19-26.

Alothman, M.; Bhupinder, K.; Fazilah, A.; Bhat, R. y Karim, A. 2010. Ozone-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11: 666-671.

Andrade-Cuvi, M.; Moreno, C.; Henríquez, A. y Gómez, A. 2010. Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1):18-27.

Artés-Hernández, F.; Rodríguez-Hidalgo, S. y Artés F. 2010. Establecimiento de la vida comercial en uva 'Crimson seedless' mínimamente procesada con distintos lavados. Post-recolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Asociación de Exportadores ADEX. 2013. Ficha de requisitos técnicos de acceso al mercado de EEUU. Requisitos no arancelarios para arándano fresco "*Vaccinium corymbosum*".

Bataller, M., Santa Cruz, S. y García, M. 2010. El ozono: Una alternativa sustentable en el tratamiento postcosecha de frutas. Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Cuba.

Beltrán, A. 2010. Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamiento con luz ultravioleta de onda corta UV-C. Trabajo de Grado, Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Chiam, L.; Liew.; y Prange, R. 2004. Effect of Ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.) Research Station, Agriculture Canada. Kentville, Canada.

Coria, L.; Peralta, F. y Albarracín, P. 2008. Análisis de Antocianinas en Arándanos del NOA. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.

Cote, S. 2011. Efecto de la intensidad de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos. Tesis para Título de Magister en Tecnología e Higiene de los Alimentos. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina.

Glowacz, M.; Colgan, R. y Rees, D. 2015. Influence of continuous exposure to gaseous ozone on the quality of red bell peppers, cucumbers and zucchini. *Postharvest Biology and*

Technology, 99: 01-08.

Godoy, A. 2004. Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones en frío convencional. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar de Plata. Buenos Aires, Argentina.

González-Aguilar, G.; Ayala-Zavala, J.; Rivera-López, J.; Zavaleta-Gatica, R.; Villegas-Ochoa, M. y Tejedor, W. 2005. Reducción de deterioro en frutos de mango, durazno y nectarina utilizando irradiación ultravioleta (UV-C). *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*, 3(1):49-57.

Hernández-Muñoz, P.; Almenar, E.; Del Valle, V.; Velez, D. y Gavara R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110: 428-435.

James J. y Ngarmsak T. 2010. Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A Technical Guide. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/i1909e/i1909e00.htm>. Fecha de acceso: 15 de Setiembre de 2014.

Jara, G. 2012. Características de los arándanos cultivados en Perú. Licenciada en Ciencias Biológicas. Magister en Ciencias. Santiago de Chile.

Keutgen, A. y Pawelzik, E. 2007. Modifications of strawberry fruit antioxidant pools and fruit quality under NaCl stress. *Agric. Food Chem*, 53: 3713-3717.

Kuskosky, E.; Asuero, A.; Troncoso, A. y Mancini-Filho, J. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25(3): 726-732.

Montti, M. 2010. Desarrollo de nuevas metodologías para el análisis de fungicidas triazólicos en arándanos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Nunes, M.C.; Emond, J.P. y Bretch, J. 2004. Quality curves for highbush blueberries as a function of the storage temperature. *Proceedings of the Ninth North American Blueberry Research*, 3(3): 423-438.

Öztekin, S.; Zorlugenc, B. y Kiroglu, F. 2005. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs. Faculty of Agriculture, Department of Farm Machinery, Cukurova University, Adana Turkey. *Journal of food engineering*, 75: 396-399.

Pascual, A.; Llorca, I. y Canut, A. 2007. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends in Food Science and Technology* 18: S29 – S35.

Pérez, L. 2003. Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada. Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia.

Pino, C. 2007. Descripción del desarrollo vegetativo y de las características físicas y químicas de los frutos de cuatro clones de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.). Tesis para Grado de Licenciado en Agronomía Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

Rawson, A.; Patras, A.; Tiwari, B.; Noci, F.; Koutchma, T.; Brunton, N. 2011. Effect of thermal and no thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review and recent advances. *Food Research International*, 44: 1875-1887.

Salvador, A.; Abad, I.; Arnal, L. y Martínez-Jávega, J. 2005. Efecto del ozono en el mantenimiento de la calidad de caqui rojo brillante. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. Hermosillo, México.

Sandoval, A. 2013. Uso de Ozono en la calidad del arándano azul (*Vaccinium Ashei* Reade). Trabajo de Grado para Maestra en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo,

México.

Sarig, P.; Zahavi, Y.; Zuthhi, S.; Yannai, N.; Lisker y Ben-Arie, R. 2007. Ozone for control of postharvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 48: 403-415.

Scheihing, P. 2005. Elaboración de Vino de Arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) como materia prima para la Producción de Vinagre. Tesis para Licenciado en Ciencia de Alimentos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

Selma, M.; Ibáñez, A.; Cantwell, M. y Suslow T. 2008. Reduction by gaseous ozone of *Salmonella* and microbial flora associated with fresh-cut cantaloupe. *Food microbiology*, 25: 558-565.

Seminario, L.; Acuña, J. y Williams, S. 2010. El ozono y su aplicación en la conservación de alimentos. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Académica Los Ángeles, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Wei, K.; Zhou, H.; Zhou, T y Gong, J. 2005. Comparación del ozono acuoso y el cloro como desinfectantes en la industria alimentaria: el impacto en la calidad del producto agrícola fresco. Programa de investigación alimentaria, agricultura y agroalimentación. Ontario, Canadá.

Xu, L. 2008. Uso de Ozono para mejorar la seguridad de frutas y vegetales frescos. *Revista Científica Mundo Alimentario*. Edición noviembre/diciembre.

Zapata, L.; Malleret, A.; Lesa, C.; Rivadeneira, M. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándano durante su maduración. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 21(41): 159-171.