



Scientia Agropecuaria

Website: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo

Efecto del ozono gaseoso sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y apariencia general de *Punica Granatum L.* wonderful fresca

Effect of gaseous ozone on physicochemical characteristics, microbiological and general appearance of fresh wonderful *Punica granatum L.*

Carla Pretell Vasquez^{1,*}; Luis Marquez Villacorta¹; Raúl Siche²

¹ Universidad Privada Antenor Orrego. Av. América Sur 3145, Trujillo – Perú.

² Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II S/N; Ciudad Universitaria, Trujillo – Perú.

Received May 05, 2016. Accepted June 23, 2016.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del ozono gaseoso sobre las características fisicoquímicas, recuento mohos y levaduras y apariencia general de granada. Se trabajó con frutos de granada variedad Wonderful acopiados en una cámara de vidrio donde se inyectó el gas utilizando un equipo generador de ozono con flujo de 500 mg / h, y un medidor digital para cuantificar la concentración de ozono. Se utilizó un diseño compuesto central rotatable (DCCR) para analizar el efecto de la concentración de ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$) sobre la pérdida de peso, firmeza, color en cáscara, sólidos solubles, recuento mohos y levaduras, contenido de antocianinas totales y apariencia general. Se determinó que la concentración de ozono gaseoso tuvo efecto significativo en las variables respuestas estudiadas. El modelo cuadrático presentó el mejor ajuste de datos. Se estableció que la concentración de ozono entre 40 - 50 ppm permitió obtener la menor pérdida de peso, bajo recuento de mohos y levaduras; mayor firmeza, contenido de sólidos solubles, color en cáscara, contenido de antocianinas totales y apariencia general en granada durante 50 – 55 días de almacenamiento.

Palabras clave: mínimo proceso, conservación no térmica, compuestos antioxidantes, hormesis, frutas.

Abstract

Evaluate the effect of gaseous ozone on physicochemical characteristics, molds and yeasts count and overall appearance of granada. Wonderful variety fruits of granada was collected in a glass chamber where the gas is injected using ozone generator equipment with flow of 500 mg / h and a digital meter for measuring the ozone concentration. A central composite design rotatable (CCDR) was used to analyze the effect of the concentration of ozone gas and storage time ($p < 0.05$) on weight loss, firmness, shell color, soluble solids, mold and yeasts count, total anthocyanins content and overall appearance. It was determined that the concentration of ozone gas had significant effect on the responses studied variables. The quadratic model provided the best fit of data. It was established that the concentration of ozone between 40 - 50 ppm, it allows for the lowest weight loss, low count of molds and yeasts; greater firmness, soluble solids, shell color, total anthocyanins content and overall appearance in Granada during 50 - 55 days of storage.

Keywords: minimal processing, non-thermal preservation, antioxidant compounds, hormesis, fruits.

1. Introducción

El valor económico de las frutas y hortalizas frescas está en constante crecimiento, debido al incremento en la demanda de los consumidores, quienes han mostrado mayor interés en su dieta diaria, y porque estos productos han sido reconocidos como alimentos saludables (Glowacz *et al.*, 2015). Entre las frutas

que están ganando mundialmente popularidad en los últimos años encontramos a la granada debido a su elevado valor nutricional y terapéutico (Barman *et al.*, 2011). Diferentes organizaciones (WHO, FAO, USDA, EFSA), recomiendan el incremento de consumo de frutas y hortalizas debido a que reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer

* Corresponding author

E-mail: cpretellv@upao.edu.pe (C. Pretell).

© 2016 All rights reserved.

DOI: 10.17268/sci.agropecu.2016.03.03

(Gorena *et al.*, 2010). Estos efectos benéficos a la salud son atribuidos en parte a la presencia de antioxidantes que actúan como receptores de radicales libres (Glowacz *et al.*, 2015).

En el procesado industrial de frutas frescas, la etapa que consigue disminuir la contaminación microbiana inicial es el lavado-desinfección que habitualmente se realiza con hipoclorito de sodio (100-200 ppm a pH 6,5). Sin embargo, debido a los riesgos demostrados en formación de subproductos potencialmente cancerígenos tras su reacción con la materia orgánica, se está cuestionando el uso del hipoclorito de sodio en todo el mundo (Zhao y Zhu, 2011). Por ello, se están desarrollando diversas técnicas alternativas, emergentes y sostenibles, para prolongar la calidad y vida útil de los productos frescos, como por ejemplo: irradiación UV-C, ozono, ácidos orgánicos, envasado en atmósferas modificadas, coberturas comestibles, y otros (Artés-Calero *et al.*, 2009).

El ozono es un desinfectante que actúa rápidamente proporcionando un excelente control microbiológico, por su poder de inactivación de virus, bacterias, mohos y levaduras a través de la oxidación de sus membranas celulares, también se utiliza en el control de insectos. De esta manera se convierte en una herramienta de valor inestimable para el control higiénico-sanitario de puntos críticos de control en la manipulación de alimentos (Glowacz *et al.*, 2015). En Estados Unidos el ozono es considerado un producto GRAS (generally recognised as safe) y está aprobado para su uso como agente desinfectante (Kying *et al.*, 2014).

Se ha demostrado que los tratamientos con ozono han sido eficaces en la ampliación de la vida útil en naranjas, frambuesas, uvas, peras y manzanas. El ozono puede inducir al efecto hórmino en frutas frescas, que promueve diversas respuestas fisiológicas positivas, incluyendo la síntesis de antioxidantes, poliaminas, etileno, compuestos fenólicos, y otros metabolitos secundarios (Ali *et al.*, 2014). Además, ha sido reportado que el ozono induce a la

formación de resveratrol y fitoalexinas, logrando una mayor resistencia de las frutas a infecciones microbianas (Garmendia y Vero, 2006).

No se han encontrado estudios del efecto de la concentración de ozono sobre las características de calidad en granada fresca; razón por la cual se hace necesario estudiar esta aplicación, la cual podría extender la vida útil del producto. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del ozono gaseoso sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y apariencia general de granada.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

Los frutos de granada variedad Wonderful se obtuvieron del Fundo Agrícola Chavín de Huantar – Casma, Ancash-Perú, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a su aspecto general (ausencia de signos de putrefacción y deterioro físico como grietas, cortes y magulladuras). La clasificación fue en base al peso considerando $450 \text{ g} \pm 25 \text{ g}$ y el color rojo uniforme en el 95% del fruto. La limpieza se realizó con una escobilla de cerdas de nylon para eliminar impurezas superficiales.

2.2 Tratamiento con ozono

Se generó ozono gaseoso mediante una máquina ozonificadora (marca Ozonomatic, modelo OZ-500) con un flujo de 500 mg/h, el cual se inyectó en una cámara de vidrio (Figura 1) que contenía veinte frutos por tratamiento, sometiéndolos a diferentes tiempos de exposición que nos permitió obtener concentraciones entre 8 – 72 ppm, lo cual fue controlado utilizando un medidor digital de ozono gaseoso (marca Crowcon, modelo Gasman O₃, sensibilidad $\pm 0,1 \text{ ppm}$). Se consideró una muestra control (sin ozonificación). Los frutos se almacenaron en una refrigeradora con control de temperatura (marca Bosch, modelo KSU44, capacidad 346 L) durante 60 días a $8 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y $85\text{-}90\% \pm 0,1\%$ de humedad relativa, control realizado con un termohigrómetro (Marca Fluke, Modelo 971, sensibilidad $\pm 2,5 \%$).

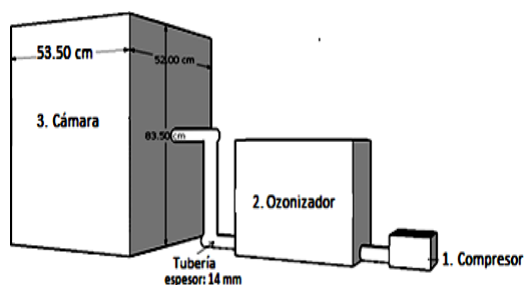


Figura 1. Esquema de cámara de vidrio y equipo generador de ozono.

2.3 Metodología experimental

Pérdida de peso. Se determinó por diferencia en los distintos tiempos de evaluación. Los datos se expresaron en porcentaje, respecto al peso inicial (Barman *et al.*, 2011). Se utilizó una balanza digital, marca Ohaus, modelo CP602, precisión 0,01 g.

Color en cáscara. Se utilizó el sistema CIELAB, usando un colorímetro (marca Kónica-Minolta, modelo CR-400). El equipo fue calentado durante 10 min y calibrado con un blanco estándar. La característica de color evaluada fue la luminosidad (L^*). Las medidas fueron tomadas en cinco puntos diferentes del fruto, reportando el promedio de los valores (Silva *et al.*, 2011).

Firmeza. Fue evaluada mediante la determinación de la fuerza de penetración expresada en Newtons (N), utilizando un penetrómetro (marca Wagner, modelo FTX 30), con un puntal de 10 mm de diámetro. Las muestras fueron penetradas alrededor del diámetro ecuatorial, tomándose dos medidas, reportando el promedio de los valores (Villalobos, 2009).

Sólidos solubles. Se determinó en el jugo, utilizando un refractómetro (marca Atago 0-30%, modelo Master 3M), calibrado a 20 °C, precisión $\pm 0,2\%$. Se reportó el promedio de 5 mediciones (Martínez-Romero *et al.*, 2013).

Recuento mohos y levaduras. La numeración de mohos y levaduras (BAM, 2001) se realizó en Agar DRBC (Dicloro Rosa Bengala + Cloranfenicol), luego de una incubación a 21 °C por 5 días. Los

resultados se reportaron en ufc/g (Silva *et al.*, 2011).

Apariencia general. Se evaluó en base a las características sensoriales de color visual en la cáscara y firmeza táctil del fruto usando una escala hedónica de 9 puntos, donde 1: extremadamente malo, 3: malo, 5: aceptable y límite de aceptabilidad, 7: bueno y 9: excelente. Se trabajó con 30 panelistas no entrenados (Martínez-Romero *et al.*, 2013).

Contenido de antocianinas totales. Se utilizó el método por diferencia de pH, que consiste en el siguiente procedimiento: Se pesó 10 g de arilos a los cuales se adicionó 40 mL de etanol al 80% acidificado con HCl 0,1 M (pH 2), que fueron sometidos 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 (marca Thermo Electron Corporation, modelo Spectronic Genesys 6) frente a un blanco a 510 nm y 700 nm. La absorbancia final se determinó a partir de:

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

El contenido de Antocianinas Monoméricas Totales (AMT) en el extracto se expresó en cianidina 3-glucósido, utilizando la fórmula (Meillón, 2011):

$$\text{AMT (mg/100 g)} = (A \cdot \text{PM} \cdot \text{FD} \cdot 100) / (\epsilon \times 1)$$

Donde A = Absorbancia, PM = Peso molecular 449 g/mol, FD = Factor de dilución, ϵ = Absortividad molar (25965 L / mol·cm).

Diseño estadístico. Se utilizó un diseño compuesto central rotatable (DCCR) para las variables concentración de ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento, con un total de 13 tratamientos y con tres puntos centrales (Tabla 1). El análisis de varianza,

se aplicó con un nivel de confianza del 95%, para validar los modelos obtenidos (R^2 y valor p). Se utilizó el programa Minitab Statistical Software, versión 17,0 (Minitab Inc., 2014) para obtener las ecuaciones y generar las figuras de superficie de respuesta.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 donde se muestra los valores obtenidos en la investigación.

Pérdida de peso

La pérdida de peso presentó valores entre 2,45 – 17,49 % (Tabla 1). Se localizó una región de interés que corresponde a los valores más bajos entre 25 - 60 ppm de O_3 para un tiempo de almacenamiento de 05 - 60 días. Figueroa *et al.* (2010) mencionan que valores superiores al 10% de pérdida de peso en productos frescos producen cambios indeseables en la apariencia, lo cual causa rechazo por parte del consumidor. Keugten y Pawelzik (2008) mencionaron que la pérdida de peso en frutas es causada por el consumo de sustratos debido a la respiración y también por la pérdida de agua debido a la transpiración; así mismo, indican que el impacto benéfico de la aplicación de ozono en los frutos podría manifestarse por una serie de efectos como la inhibición del

daño en las membranas celulares y por retardo en las funciones asociadas a la membrana, lo cual explicaría los menores valores de pérdida de peso de los frutos ozonificados, en comparación, con la muestra control. La pérdida de peso puede implicar la pérdida de la calidad, y en consecuencia el rechazo de los consumidores (Herrera, 2013). Glowacz *et al.* (2015) sugieren que la reducción en la pérdida de peso de frutas podría estar relacionada a la acción del ozono sobre los estomas de la epidermis, provocando una disminución de la porosidad. Tendencias similares fueron encontradas por Keutgen y Pawelzik (2008) quienes reportaron una pérdida de peso en fresa expuesta a ozono gaseoso (0,14 ppm durante 8 h por 5 días) de 8,9%, mientras que el control fue de 9,6%.

Firmeza

Se determinó resultados de firmeza entre 80,98 – 92,56 N para los distintos tratamientos (Tabla 1). Obteniéndose los mejores valores cuando la concentración de ozono gaseoso estuvo entre 13 a 50 ppm para un tiempo de almacenamiento de 40 - 60 días (Figura 2). Glowacz *et al.* (2015) indican que el ozono provoca una disminución de la actividad de la enzima pectinmetilesterasa.

Tabla 1

Efecto de la concentración de ozono gaseoso sobre las características físicoquímicas, microbiológicas y sensoriales en granada variedad wonderfuul durante el almacenamiento

Concentración O_3 (ppm)	Tiempo (días)	Pérdida Peso (%)	Firmeza (N)	Sólidos Solubles ($^{\circ}$ Brix)	Antocianinas (mg/100 g muestra)	Mohos y levaduras (ufc/g)	Color Cáscara (L^*)	Apariencia General (puntos)
65	9	6,21	92,56	16,30	76,81	270	32,54	7
8	9	7,43	85,32	16,30	80,56	1000	31,66	6
72	30	5,67	85,32	16,30	100,45	450	31,31	6
8	51	8,05	84,53	16,10	100,84	1060	31,18	4
36	30	2,45	91,46	16,20	100,75	655	36,95	8
36	60	7,11	87,28	16,00	105,65	850	28,48	5
36	30	2,47	91,09	16,00	100,75	655	34,24	8
65	51	6,93	80,98	16,30	104,48	680	32,48	6
36	30	2,46	91,28	16,00	100,92	670	34,24	8
36	30	2,47	91,26	16,00	100,75	675	34,48	8
36	30	2,48	91,26	16,00	100,75	670	34,51	8
0	30	17,49	80,12	16,30	66,43	2500	29,70	3
36	0	0,00	85,32	16,00	82,32	340	34,29	8

Asimismo, argumentan que los beneficios sobre la firmeza del fruto podrían relacionarse con un retraso en la madurez y senescencia debido a la disminución de la solubilización y despolimerización de los pectinpolisacaridos. Tendencias similares fueron encontradas por Glowacz *et al.* (2015) quienes reportaron una disminución de la firmeza en las muestras control de pepino 19 N y zucchini 16 N, en comparación con las muestras expuestas a ozono gaseoso (100 ppm) pepino 23 N y zucchini 21 N, durante los 17 días de almacenamiento a 8 y 12 °C, respectivamente.

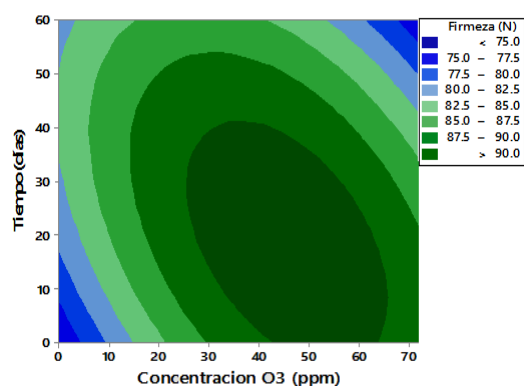


Figura 2. Firmeza en función del tiempo de almacenamiento y concentración ozono gaseoso.

Contenido de sólidos solubles

Se obtuvieron resultados entre 16,0 – 16,3% (Tabla 1), indicando que el nivel de azúcares con el cual se realizó la cosecha se vio poco modificado durante el almacenamiento. Aday y Caner (2014) mencionaron que la variación de los sólidos solubles en frutas puede deberse a la actividad fisiológica, relacionada al aumento de la velocidad de respiración, que conlleva a una hidrólisis rápida de la sacarosa durante el almacenamiento. Tendencias similares fueron encontradas por Aday y Caner (2014) quienes reportaron ligeros incrementos en los sólidos solubles de fresas expuestas a ozono gaseoso (0,075 ppm por 5 min), durante 30 días de almacenamiento a 4 °C, alcanzando un valor de 4,68 °Brix, en

comparación, con la muestra control que llegó a 4,72 °Brix.

Color en cáscara

Se puede observar que la luminosidad disminuyó con el tiempo de almacenamiento y concentración de ozono gaseoso, denotándose un oscurecimiento (Figura 3), los valores fluctuaron entre 28,48 – 36,95 (Tabla 1). Los mejores valores se encontraron entre 25 – 55 ppm de ozono gaseoso para un tiempo de almacenamiento de 5 – 50 días. Barman *et al.* (2011) indicaron que los cambios de color en la cáscara de granada están asociados a la síntesis de las antocianinas y que la aplicación de tecnologías no térmicas como el ozono gaseoso podría retrasar la velocidad de senescencia en el fruto. Zhang *et al.* (2008) mencionan que el oscurecimiento en la cáscara de granada puede ser atribuido a los taninos que se comportan como sustratos del pardeamiento enzimático, por tanto, también podrían influir en la disminución de luminosidad.

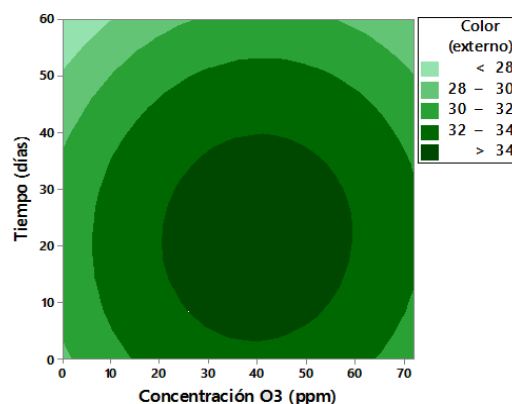


Figura 3. Color en cáscara en función del tiempo de almacenamiento y concentración ozono gaseoso.

Contenido de antocianinas totales

Se obtuvo valores de 66,43 – 105,65 mg/100g muestra (Tabla 1), localizando un área que corresponde a los valores más altos entre 25 - 65 ppm de O₃ para un tiempo de almacenamiento de 40 - 60 días. Zaouay *et al.* (2012) mencionan que el contenido de antocianinas es un parámetro

de calidad muy importante en la granada, debido a la importancia de estos compuestos en el color del arilo y el jugo. Las antocianinas en la granada varían con el cultivar, madurez, área de producción y condiciones de estación. Selcuk y Erkan (2014) mencionan que el incremento de las antocianinas durante el almacenamiento puede deberse a la continuación de la biosíntesis de los compuestos fenólicos después de la cosecha, que están relacionados al proceso de senescencia. Así mismo, indican que este incremento podría estar relacionado con una mayor actividad de las enzimas que intervienen en la ruta biosintética de las antocianinas, que son fenilalanina amonio liasa y UDP glucosa: flavonoid-3-O-glucosiltransferasas. Fawole y Opara (2013) indicaron que el incremento de las antocianinas podría ser el resultado de la contribución de los compuestos fenólicos a la biosíntesis del anillo flavilium de las antocianinas. Rivera *et al.* (2007) mencionan que el ozono actúa sobre la pared celular, inhibiendo la formación de radicales libres al tener acción sobre las quinonas, las cuales no pueden liberarse y actuar sobre los anillos aromáticos de los compuestos fenólicos evitando así su degradación; a su vez la exposición da ozono gaseoso permitiría la inducción de mecanismos de defensa los cuales se relacionan positivamente con la reducción de desórdenes fisiológicos, evitando así la pérdida de color. Tendencias similares fueron encontradas por Keutgen y Pawlzik (2007) quienes en fresas expuestas a ozono gaseoso (15,6 ppm) durante 5 días a 24 °C, indican valores de 19,02 mg/100g, en comparación, con la muestra control que presentó un valor de 17,76 mg/100g.

Recuento de mohos y levaduras

En la Tabla 1 se muestra el recuento de mohos y levaduras, reportándose valores entre 270 – 2500 ufc/g. Los resultados indican que se localizó un área de interés a los valores más bajos entre 30 - 72 ppm de O₃ para un tiempo de almacenamiento de 20 - 60 días. Bataller-Venta *et al.* (2010)

indicaron que el ozono es un desinfectante muy efectivo respecto a otras alternativas, debido a que cuenta con un elevado poder oxidante y germicida, así mismo, que el ozono bajo condiciones adecuadas de exposición, durante el procesado y almacenamiento de frutas, extiende la vida útil y conserva las características sensoriales de los productos. Los recuentos de mohos y levaduras se encontraron por debajo del límite máximo permisible de 6000 ufc/g, recomendado para frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas (MINSA, 2008).

Los mohos y levaduras son los principales causantes de podredumbres en las frutas. El crecimiento fúngico continua en los productos frescos después de la cosecha y causa lesiones que alteran el aspecto de frutas y hortalizas. En los últimos años la exposición al ozono gaseoso, una tecnología no térmica, está siendo aplicada en el procesamiento de alimentos para inactivar varios tipos de microorganismos. Se ha comprobado la eficacia del ozono gaseoso sobre el control de microorganismos en frutas y hortalizas frescas como el plátano, fresa, uva, pepino, zanahoria, lechuga, entre otros (Alexandre *et al.*, 2011). Habibi y Haddad (2009) mencionan que para controlar el crecimiento de mohos y levaduras es necesario aplicar el ozono en altas concentraciones y periodos cortos de tiempo o viceversa. Tendencias similares fueron encontradas por Restuccia *et al.* (2014) quienes reportaron valores de 63000 ufc/g en alcachofa expuestas a ozono gaseoso (2 ppm por 11 h) durante 7 días a 4 °C, en comparación, con la muestra control que presentó un valor de 100000 ufc/g.

Apariencia general

En la Tabla 1 se observan valores entre 3 – 8 puntos, que corresponde a una percepción de me disgusta bastante y me gusta demasiado. El análisis de estos resultados indica que los valores más altos se encuentra entre 20 – 25 ppm de O₃ para un tiempo de almacenamiento de 40 - 58 días. Las características sensoriales son los

atributos de los alimentos que se detectan por medio de los sentidos y son, por lo tanto, la apariencia, el olor, el aroma, el gusto y la firmeza. Teniendo presente que la apariencia representa todos los atributos visibles de un alimento, se puede afirmar que constituye un elemento fundamental en la elección de este (Carpenter, 2002; Artés-Hernández *et al.*, 2006). Tendencias similares fueron encontradas por Artés-Hernández *et al.* (2006) indicando que las uvas de mesa con exposición al ozono gaseoso (0,6 ppm por 2 min de forma diaria) fueron aceptadas por los panelistas hasta el día 23 de almacenamiento, mientras que la muestra control, fue considerada de rechazo.

Optimización del modelo

A continuación se muestra las ecuaciones del modelo cuadrático para la pérdida de peso, firmeza, contenido de sólidos solubles, color en cáscara, contenido de antocianinas totales, recuento de mohos y levaduras y apariencia general, los cuales mostraron un valor de $p < 0,05$, indicando un efecto significativo sobre las variables respuesta.

$$\text{Pérdida de peso} = 12,32 - 0,549 O_3 + 0,042 T + 0,0064 O_3^2 + 0,00042 T^2 + 0,0001 O_3 * T$$

$$\text{Firmeza} = 74,94 + 0,589 O_3 + 0,367 T - 0,00554 O_3^2 - 0,0043 T^2 - 0,00456 O_3 * T$$

$$\text{Sólidos Solubles} = 16,423 - 0,01829 O_3 - 0,0036 T + 0,000231 O_3^2 - 0,00001 T^2 + 0,000083 O_3 * T$$

$$L^* = 29,55 + 0,2092 O_3 + 0,1257 T - 0,002681 O_3^2 - 0,00309 T^2 + 0,0002 O_3 * T$$

$$\text{Contenido de antocianinas} = 61,8 + 0,969 O_3 + 0,694 T - 0,01176 O_3^2 - 0,00549 T^2 + 0,00314 O_3 * T$$

$$\text{Recuento de mohos y levaduras} = 1634 - 55,9 O_3 + 18,3 T + 0,461 O_3^2 - 0,274 T^2 + 0,145 O_3 * T$$

$$\text{Apariencia general} = 4,174 + 0,195 O_3 + 0,021 T - 0,002404 O_3^2 - 0,001321 T^2 + 0,000422 O_3 * T$$

La validez del modelo fue confirmada en base a los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos que fueron de 82,77%; 81,76%; 80,75%; 81,13%; 79,96%;

81,18%; 96,63%; respectivamente para las variables estudiadas, indicando una buena correlación y fijación de modelos con los resultados obtenidos.

Los valores óptimos de las variables independientes sobre las respuestas se obtuvieron al superponer las regiones de interés de las superficies de contorno, determinando que las áreas corresponden a concentraciones de 40 – 50 ppm de O_3 gaseoso para un tiempo de almacenamiento entre 50 – 55 días.

4. Conclusiones

Existió efecto significativo ($p < 0,05$) de la concentración de ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza del fruto. Asimismo, un efecto significativo de la concentración de ozono gaseoso sobre la pérdida de peso, contenido de sólidos solubles, color en la cáscara, contenido de antocianinas totales, recuento de mohos y levaduras y apariencia general en granada variedad Wonderful. Los valores óptimos del proceso para la conservación de las características de calidad, corresponden a concentraciones entre 40 – 50 ppm de O_3 gaseoso para un adecuado almacenamiento durante 50 – 55 días. Los hallazgos de este estudio sugieren que la aplicación adecuada de dosis elevadas de ozono gaseoso por cortos espacios de tiempo podría ser considerado un método prometedor para la extensión de la vida útil en granadas frescas. Sin embargo, son necesarios mayores trabajos, para explicar con mayor profundidad el mecanismo de acción del ozono y su potencial uso industrial en la conservación de frutas frescas.

Referencias

- Aday, M.; Caner, C. 2014. Individual and combined effects of ultrasound, ozone and chlorine dioxide on strawberry storage life. *LWT - Food Science and Technology* 57: 344 – 351.
- Alexandre, E.; Santos-Pedro, D.; Brandao, T.; Silva, C. 2011. Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. *Journal of Food Engineering* 105(2): 277-282.
- Ali, A.; Kyng-Ong, M.; Forney, C. 2014. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of

- papaya fruit during ambient storage. *Journal Food Chemistry* 142: 19–26.
- Artés-Calero, F.; Aguayo, E.; Gómez, P.; Artés-Hernández, F. 2009. Productos vegetales mínimamente procesados o de la cuarta gama. *Revista Horticultura, Extra Poscosecha* 69: 52-59.
- Artés-Hernández, F.; Rodríguez-Hidalgo, S.; Artés, F. 2006. Establecimiento de la vida comercial en uva 'Crimson Seedless' mínimamente procesada con distintos lavados. VIII Simposio Nacional y V Ibérico de Maduración y Post-Recolección. Orihuela (Alicante), 27-30 Septiembre.
- Barman, K.; Asrey, R.; Pal, R. 2011. Putrescine and carnauba wax pretreatments alleviate chilling injury, enhance shelf life and preserve pomegranate fruit quality during cold storage. *Journal Scientia Horticulturae* 130: 795–800.
- Bataller-Venta, M.; Santa, S.; García, M. 2010. El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 41(3): 155-164.
- Carpenter, R.; Lyon, D.; Hasdell, T. 2002. *Análisis Sensorial*. Editorial Acirbia S.A. Zaragoza, España. 191 pp.
- Fawole, O.; Opara, U. 2014. Effects of maturity status on biochemical content, polyphenol composition and antioxidant capacity of pomegranate fruit arils (cv. Bhagwa). *Journal Postharvest Biology and Technology* 92: 29–36.
- Figuroa, D.; Guerrero, J.; Bensch, E. 2010. Efecto de momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la calidad en poscosecha de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.); cvs. Berkeley, Brigitta y Elliott durante la temporada 2005-2006. *IDESIA Chile* 288(1): 79-84.
- Garmendia, F.; Vero, S. 2006. Métodos para desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros* 197: 18-27.
- Gorena, T.; Sepúlveda, E.; Saenz, C. 2010. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de frutos de granado. *La Alimentación Latinoamericana* 285: 48 – 52.
- Glowacz, M.; Colgan, R.; Rees, D. 2015. Influence of continuous exposure to gaseous ozone on the quality of red bell peppers, cucumbers and zucchini. *Journal of Postharvest Biology and Technology* 99: 1 – 8.
- Habibi, M.; Haddad, M. 2009. Efficacy of ozone to reduce microbial populations in date fruits. *Food Control* 20: 27 - 30.
- Herrera, V. 2013. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general de sauco (*Sambucus peruviana* L.). Tesis para optar el título de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo – Perú. 105 pp.
- Kying, M.; Ali, A.; Aldersona, P.; Forney, C. 2014. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defence-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage. *Journal Scientia Horticulturae* 179: 163–169.
- Keutgen, A.; Pawelzik, E. 2008. Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under simulated retail conditions. *Journal of Postharvest Biology and Technology* 49: 10–18.
- Martínez-Romero, D.; Castillo, S.; Guillén, F.; Díaz-Mula, H.; Zapata, P.; Valero, D.; Serrano, M. 2013. Aloe vera gel coating maintains quality and safety of ready-to-eat pomegranate arils. *Postharvest Biology and Technology* 86: 107 – 112.
- Meillón, L. 2010. Evaluación de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de nuevas selecciones de flor de granada (*Punica granatum* L.) cultivadas en el estado de Guanajuato. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 85 pp.
- MINSA. 2008. Norma Resolución Ministerial N° 591-2008. Perú.
- Selcuk, N.; Erkan, M. 2014. Changes in antioxidant activity and postharvest quality of sweet Pomegranates cv. Hicrannar under modified atmosphere packaging. *Journal Postharvest Biology and Technology* 92: 29–36.
- Restuccia, C.; Lombardo, S.; Pandino, G.; Licciardello, F.; Muratore, G.; Mauromicale, G. 2014. An innovative combined water ozonisation/O₃-atmosphere storage for preserving the overall quality of two globe artichoke cultivars. *Journal Innovative Food Science and Emerging Technologies* 21: 82 – 89.
- Rivera, D.; Gardea, A.; Martín, M.; González-Aguilar, G. 2007. Efectos Bioquímicos Postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnica Mexicana* 30: 361-372.
- Silva, E.; Candelario, J.; Rocha, I.; Álvarez, B. 2011. Efectos de condición del fruto y temperatura de almacenamiento en la calidad de granada roja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (2): 449 – 459.
- Villalobos, L. 2009. Metodologías de análisis de factores de calidad en frutas tropicales y subtropicales, implementadas por el laboratorio de poscosecha de la Universidad de California en Davis, Estados Unidos. Práctica de especialidad presentada a la Escuela de Agronomía para obtener el grado de Bachillerato en Ingeniería Agrónoma. Instituto Tecnológico de Costa Rica Sede Regional San Carlos. 155 pp.
- Zaouay, F.; Mena, P.; Garcia-Viguera, C.; Mars, M. 2012. Antioxidant Activity and physico-chemical properties of Tunisian Grown pomegranate (*Punica Granatum* L.) cultivars. *Journal Industrial Crops and Products* 40: 81–89.
- Zhang, Y.; Zhang, R. 2008. Study on the mechanism of browning of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Ganesh) peel in different storage conditions. *Journal Agricultural Sciences in China* 7 (1): 65-73.
- Zhao, C.; Zhu, C. 2011. Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). *Postharvest Biology and Technology* 61, 117 – 123.