

INHIBICIÓN DEL OSCURECIMIENTO ENZIMÁTICO Y CAMBIOS TEXTURALES EN MANZANA GOLDEN DELICIOUS TRATADA CON JUGO DE PIÑA

INHIBITION OF ENZYMATIC BROWNING AND TEXTURAL CHANGES IN GOLDEN DELICIOUS APPLE TREATED WITH PINEAPPLE JUICE

J.A. Meza Velázquez¹, P. Lozano de Gonzalez², J. R. Esparza Rivera¹, F. Meza Velásquez³

¹ Facultad de Ciencias Químicas, UJED. Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México. E-mail: jameza20002000@yahoo.com.mx. ²Facultad de Ciencias Químicas, UCh, Chihuahua, Chihuahua, México. ³Escuela de Ciencias Biológicas, UAC, Torreón, Coahuila, México.

RESUMEN. Se evaluó el efecto del jugo de piña para inhibir el oscurecimiento enzimático y los cambios texturales en anillos de manzana Golden Delicious empacados al vacío y almacenados a 5°C por 21 días. Se aplicaron 4 tratamientos: jugo de piña, con empaque al vacío o bajo atmósfera regular; bisulfito de sodio al 0.1%, o agua destilada, con empaque al vacío. Los tratamientos consistieron en la inmersión de los anillos de manzana en la respectiva solución por 3 minutos, seguido del empacado (al vacío o bajo atmósfera regular) en bolsas impermeables de polipropileno y almacenamiento por 21 días a 5°C. Las pruebas analíticas fueron mediciones instrumentales de color (parámetros a^* y L^*) y textura. Los tratamientos con jugo de piña (empaque al vacío o bajo atmósfera regular) mantuvieron sus resultados de color y firmeza durante los 21 días de almacenamiento ($P > 0.05$) comparados con sus resultados del día 1. Las muestras tratadas con bisulfito al 0.1% no presentaron cambios visibles de color, pero tuvieron una pérdida de firmeza al día 14 en comparación al día 1 ($P < 0.05$). Se requiere experimentación adicional para comprobar la utilidad del jugo de piña como efectivo agente conservador del color en productos alimenticios.

PALABRAS CLAVE: Jugo de piña, oscurecimiento enzimático, sulfitos, cambios texturales.

SUMMARY. The effects of pineapple juice over enzymatic browning and texture in Golden Delicious apple rings packaged and stored for 21 days at 5°C were studied. Four treatments were applied: pineapple juice, with packaging under vacuum or regular atmosphere; 0.1% bisulfite, or distilled water, with vacuum packaging. The treatments consisted in immersing apple rings in the respective solution for 3 min following by packaging. Treated apple rings were packaged (under vacuum or regular atmosphere) in impermeable polypropylene bags and stored at 5°C for up to 21 days. Pineapple treated apple rings (packaged under vacuum or regular atmosphere) did not have changes throughout the storage time in their color (a^* and L^* values) and texture ($P > 0.05$) compared to their results on day 1. The 0.1% bisulfite treatment did not change visually during the storage time but decreased their firmness ($P < 0.05$) up to 20% by day 14 compared to their results on day 1. Further experimentation is required to assess the possible usefulness of pineapple juice as an effective color preservative agent for food products.

KEYWORDS: Pineapple juice, enzymatic browning, sulfites, textural changes.

INTRODUCCIÓN

La manzana (*Pyrus malus L.*) es una fruta cuya calidad sensorial en etapas post cosecha (almacenamiento o procesamiento) es afectada por varios problemas, entre los que destacan el oscurecimiento enzimático (Sapers, 1993; Almeida y Nogueira, 1995) y cambios texturales como la pérdida de firmeza y/o flacidez del producto (Kupferman, 2002; Link, 2004). El oscurecimiento enzimático en los productos

alimenticios es un problema que se caracteriza por la aparición de manchas oscuras de diferentes tamaños que regularmente son de color café, rojo o negro (Sapers, 1993). Este problema se debe a la oxidación de compuestos fenólicos naturalmente presentes en el alimento (Barth *et al.*, 2004), y dicha reacción oxidativa es catalizada por la enzima polifenol oxidasa en presencia de oxígeno, produciéndose *o*-quinonas (Tomas-Barberan *et al.*, 1997). Las *o*-quinonas son compuestos incoloros que eventualmente se polimerizan

para formar melaninas, que son los pigmentos oscuros responsables de los cambios de coloración en el producto (Castañer *et al.*, 1996). La manzana contiene compuestos fenólicos que son sustratos susceptibles para reacciones de oxidación enzimática, tales como el ácido clorogénico, catequinas y procianidinas (Amiot *et al.*, 1992). Asimismo, los cambios texturales que reducen la calidad de muchas frutas y vegetales son causados principalmente por la deshidratación del producto (Link, 2004), así como por alteraciones en la estructura celular de los tejidos del alimento (Alzamora *et al.*, 2000; Abbot y Harker, 2004). La deshidratación del producto causa una disminución de la turgencia dentro de las células, lo que resulta en una textura menos firme del alimento (Alzamora *et al.*, 2000). Por otro lado, los procesos metabólicos de maduración y envejecimiento de frutas y vegetales provocan alteraciones en la estructura de las paredes celulares de estos productos, lo que causa cambios texturales indeseables tales como reblandecimiento y/o flacidez (Abbot y Harker, 2004; Barth *et al.*, 2004).

Se han desarrollado tratamientos físicos y químicos para prevenir el oscurecimiento enzimático y los cambios texturales en los productos vegetales durante su etapa de almacenamiento, con la finalidad de mantener la calidad postcosecha de estos alimentos. Sin embargo, la efectividad de dichos tratamientos es limitada, además de que en algunos casos se tienen restricciones para la aplicación de algunos agentes reconocidos por su alta capacidad preservativa, como son los sulfitos. Los sulfitos son aditivos alimenticios comprobados como efectivos inhibidores de oscurecimiento enzimático (Sapers, 1993), aunque últimamente se restringió el uso de estos compuestos en frutas y vegetales destinados a ser vendidos o consumidos sin cocimiento (crudos), debido a reportes de efectos adversos en la salud de personas asmáticas presumiblemente ocasionados por el consumo de productos tratados con sulfitos (Sapers, 1993; Almeida y Nogueira, 1995). Además, otra desventaja que presentan los sulfitos es que se ha observado que afectan desfavorablemente la textura de algunos productos vegetales como la papa (Mondy y Pettersen, 1969; Chalom *et al.*, 1993) y la manzana (Lozano *et al.*, 1993). Otro método utilizado para preservar productos alimenticios es el empaque al vacío, el cual consiste en empaque al producto bajo condiciones de vacío parcial con la remoción del aire del interior del empaque, lo cual reduce el contacto del alimento con el oxígeno (Jay, 2000). Algunos de los beneficios adicionales del empaque al vacío son que reduce el crecimiento microbiano, además de que retrasa el desarrollo de peroxidación de lípidos y cambios de color en los alimentos (Gil *et al.*, 1998; Jay, 2000). Asimismo, entre

los métodos de conservación usados para evitar cambios texturales en productos vegetales se encuentra el almacenamiento del producto a temperaturas cercanas a los 0°C (Saltveit, 2004). De acuerdo con Ferreira *et al.* (1994) y Barth *et al.* (2004) el enfriamiento reduce la tasa metabólica de frutas y vegetales, lo cual ayuda al mantenimiento de importantes atributos sensoriales tales como la textura, color y apariencia.

Existe actualmente un intenso interés tanto en el desarrollo de métodos de conservación como en la búsqueda de agentes antioxidantes que ayuden a inhibir el oscurecimiento enzimático en productos vegetales por tiempos de almacenamiento más largos (Sapers y Miller, 1993; Taylor, 1993). Es necesario señalar que dichos tratamientos o agentes no deben representar peligro alguno para la salud ni afectar otros atributos sensoriales de los alimentos, como la textura. Se ha evaluado la capacidad antioxidante de varios compuestos, como los derivados del ácido ascórbico (Sapers *et al.* 1989; Sapers y Miller 1992), el 4-hexilresorcinol (Monsalve *et al.*, 1993), los aminoácidos azufrados (Molnar-Perl y Friedman, 1990), y el jugo de piña (Lozano *et al.*, 1993; Meza *et al.*, 2002), los cuales han sido reportados como efectivos inhibidores del oscurecimiento enzimático en estudios experimentales en papa, pera y manzana.

El jugo de piña es un producto natural que ha probado tener cierta capacidad para inhibir el oscurecimiento enzimático en manzana Red (Lozano *et al.*, 1993) y Golden Delicious (Meza *et al.*, 2002) por periodos cortos de almacenamiento (hasta 2 días). Sin embargo, no se tiene reportado la efectividad del jugo de piña como inhibidor del oscurecimiento enzimático en periodos prolongados de almacenamiento, además de que tampoco se ha evaluado el efecto del jugo de piña sobre la textura de la manzana fresca.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del jugo de piña sobre el oscurecimiento enzimático y la textura de manzana Golden Delicious empacada al vacío durante su almacenamiento a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ por 21 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras experimentales. Se utilizó en el presente estudio manzana variedad Golden Delicious de madurez comercial adquirida en un centro comercial de Chihuahua (Chihuahua, México). La manzana fue cosechada en el municipio de Cuauhtemoc (Chihuahua, México). El bisulfito de sodio fue adquirido de Sigma (St. Louis, Missouri, Estados Unidos), y el jugo de piña fue obtenido de Del Monte® (San Francisco, California,

Estados Unidos). El jugo de piña de esta marca fue seleccionado porque no contenía aditivos alimenticios de ningún tipo, y fue utilizado sin diluir.

Preparación de las muestras experimentales. Las manzanas enteras fueron almacenadas sin empaque a 4°C por dos días y puestas a temperatura ambiente 40 minutos antes de los tratamientos. Luego, las manzanas fueron lavadas con agua y seleccionadas para obtener las muestras experimentales, descartándose aquellas que tenían defectos visibles de calidad (manzanas machucadas, muy maduras o con insectos). Después de este paso les fueron removidas a las manzanas seleccionadas la cáscara y la parte central (con semillas) utilizando un cortador-despepitador-pelador de manzanas Todo-en-uno Progressive (Bayou LaFourche Knife Works, Inc., Grayson, Louisiana, Estados Unidos). Luego, las manzanas sin cáscara ni la parte central fueron trozadas con un cuchillo para obtener anillos de manzana con un grosor de 0.4 cm y diámetro de 8 ± 0.5 cm, los cuales fueron las muestras experimentales a ser sujetas a tratamientos. Se descartaron para ser utilizadas como muestras experimentales los anillos de manzana que no reunían las dimensiones antes mencionadas, seleccionándose 4 anillos por cada manzana preparada. Las muestras experimentales se distribuyeron aleatoriamente entre los tratamientos, asignando un anillo de cada manzana preparada por tratamiento. Las muestras experimentales fueron tratadas inmediatamente luego de ser obtenidas. Se tuvo un tiempo promedio de un minuto desde la remoción de cáscara y parte central hasta la obtención de las muestras experimentales y aplicación de tratamientos. La preparación de las muestras experimentales fue llevada a cabo a temperatura ambiente (24-25°C).

Tratamientos. Los tratamientos aplicados fueron: inmersión en jugo de piña con empaque al vacío (1), inmersión en jugo de piña con empaque bajo atmósfera regular (2), inmersión en bisulfito al 0.1% (p/v) con empaque al vacío (3), e inmersión en agua destilada con empaque al vacío (blanco) (4). Fue utilizado como control comparativo el tratamiento de inmersión en bisulfito con empaque al vacío. Los tratamientos consistieron en la inmersión de las muestras experimentales en la respectiva solución a temperatura ambiente (24-25°C) por tres minutos, seguido del empaque de las muestras al vacío o bajo atmósfera regular. Se tuvo especial cuidado en que las muestras experimentales fueran totalmente sumergidas en las soluciones durante la inmersión. Después de la inmersión, las muestras experimentales fueron removidas de la solución y se dejaron drenar el exceso de solución por 3 minutos sin cubrirlas, y luego fueron empacadas en bolsas impermeables de polipropileno

para envasado al vacío. El empaque al vacío consistió en empaque las muestras experimentales tratadas en las bolsas de polipropileno bajo condiciones de vacío, utilizando un sellador al alto vacío (Sipromac, Inc., Marsella, Francia) para remover el aire de las bolsas y sellarlas. El empaque bajo atmósfera regular para el tratamiento de jugo de piña correspondiente consistió en empaque las muestras experimentales en las bolsas impermeables conteniendo aire en la bolsa (atmósfera regular) antes de sellarla. En ambos métodos de empaque se colocaron 4-8 muestras experimentales por bolsa sin que estuvieran en contacto entre sí. Las muestras empacadas de todos los tratamientos fueron almacenadas en ausencia de luz a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ por 21 días.

Se realizaron cuatro repeticiones de los tratamientos, obteniendo aproximadamente un kilogramo de muestras experimentales por tratamiento en cada repetición. Las muestras experimentales fueron evaluadas analíticamente a los 1, 7, 14 y 21 días de almacenamiento. Las pruebas analíticas que se realizaron fueron: medición instrumental del color (parámetros a^* y L^*) y textura (firmeza).

Medición instrumental de color (parámetros a^* y L^*). Se utilizó para la medición instrumental de color una variación del método citado por Prakash *et al.* (2000). Diez muestras experimentales (anillos de manzana) fueron seleccionadas aleatoriamente de cada tratamiento, y se les midieron la luminosidad (parámetro L^* , 0 = oscuro y 100 = brillante) y el color en la escala verde-rojo (parámetro a^* , negativo = verde, positivo = rojo) usando un colorímetro Minolta CM-2002 (Tokio, Japon). Las muestras empacadas fueron puestas a temperatura ambiente una hora antes de las mediciones. Las mediciones se llevaron a cabo colocando una muestra experimental en la celda del colorímetro y tomando mediciones en puntos diferentes de la muestra, obteniendo cuatro mediciones por muestra experimental. Se obtuvieron cuarenta mediciones por repetición de cada tratamiento. Los resultados se reportaron en valores de a^* (Cuadro 1) y L^* (Figura 1).

Medición instrumental de textura. Se midió fuerza de compresión como indicador de la firmeza (textura) de las muestras experimentales. La fuerza de compresión fue determinada de acuerdo a un método citado por Anzaldúa (1994) utilizando un Texturometro TA.XT2 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, New York, Estados Unidos) utilizando software Texture Expert para Windows versión 1.0 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Las muestras empacadas fueron puestas a temperatura ambiente una hora antes de las mediciones. La medición de fuerza de compresión se llevó a cabo colocando una muestra experimental en la

placa del texturometro, y se le aplicó una fuerza de compresión uniaxial utilizando un punzón de acero de punta plana de 1 mm de diámetro (velocidad del cabezal 1.5 mm s^{-1} , distancia de recorrido 7 mm) en distintos puntos de la muestra. Se obtuvieron 6 mediciones por muestra, y se evaluaron 10 muestras experimentales por tratamiento seleccionadas aleatoriamente, obteniéndose sesenta mediciones por repetición de cada tratamiento. Los resultados se reportaron en newtons.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados utilizando un ANOVA (diseño bifactorial 4×4) con 4 tratamientos (incluyendo blanco) \times 4 tiempos de almacenamiento (1, 7, 14 y 21 días). Los análisis de varianza fueron realizados con un Modelo General Lineal usando el sistema SAS 5.0 (SAS Inc., Cary, North Carolina, Estados Unidos). Las diferencias entre medias de los tratamientos fueron determinadas mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa ($P < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición instrumental de color. Se tuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos en los resultados de a^* y L^* en el día 1 de almacenamiento, con rangos de valores de -1.76 a 2.37 en el parámetro a^* (Cuadro 1), y de 48.1 a 78.3 en el parámetro L^* (Figura 1). Monsalve *et al.* (1993) establecen que el aumento en los valores del parámetro a^* así como la disminución en los valores de L^* en manzana indican desarrollo de oscurecimiento. La manzana tratada con bisulfito no presentó cambios visibles en su coloración durante el almacenamiento de 21 días, aunque en los resultados del parámetro de a^* bajó y en el parámetro L^* subió ($P < 0.05$) al día 14 con respecto a sus resultados del día 1. Lozano *et al.* (1993) y Meza *et al.* (2002) reportan que anillos de manzana fresca sumergidos en bisulfito de sodio al 0.1% o en jugo de piña no mostraron cambios en sus resultados de los parámetros a^* y L^* a las 24 horas después de la aplicación del tratamiento. Con respecto al tratamiento blanco (agua destilada con empaque al vacío), estas manzanas mantuvieron sus resultados de a^* durante el almacenamiento, aunque bajaron significativamente en los resultados de luminosidad L^* ($P < 0.05$), lo cual es indicativo de desarrollo de oscurecimiento enzimático. Estos resultados coinciden con Meza *et al.* (2002), quienes reportan que las muestras de manzana tratadas con agua destilada presentaron oscurecimiento enzimático en un lapso de 24 horas después de la aplicación del tratamiento.

Independientemente del tipo de empaque, los anillos de manzana tratados con jugo de piña fueron los únicos tratamientos que no tuvieron cambios en sus valores a^*

y L^* durante el experimento en comparación a sus resultados del día 1 ($P > 0.05$). Es posible que el jugo de piña haya evitado el desarrollo del oscurecimiento enzimático en la manzana debido a que contiene compuestos conocidos por su capacidad para reducir la actividad enzimática de la polifenol oxidasa. El jugo de piña contiene algunos compuestos inhibidores del oscurecimiento enzimático, tales como alcoholes alifáticos, bromelina, además de ácidos cítrico y ascórbico (Lozano *et al.*, 1993). Wu *et al.* (1991) reportan que el jugo de piña contiene 1-pentanol, el cual es un agente inhibidor de la actividad creolasa de la polifenol oxidasa (Valero *et al.*, 1990). Asimismo, Lozano *et al.* (1993) y Almeida y Nogueira (1995) reportan que los ácidos cítrico y ascórbico evitan el oscurecimiento enzimático mediante acción directa sobre la polifenol oxidasa, ya que estos dos ácidos inactivan a esta enzima oxidativa debido a que secuestran al cobre del grupo prostético de la polifenol oxidasa. Además, el ácido ascórbico actúa reduciendo a las o-quinonas a compuestos o-dihidroxifenólicos en la cadena de reacciones del oscurecimiento enzimático, con lo cual evita la formación de pigmentos oscuros (Sapers, 1993). Otros compuestos reportados como presentes en el jugo de piña que también pudieran contribuir a la prevención del desarrollo de oscurecimiento enzimático son la bromelina (Lozano *et al.*, 1993); compuestos tioles presentes en la fracción aromática del jugo de piña (Takeoka *et al.*, 1991); además de compuestos fenólicos como el ácido cinámico (Wen y Wrolstad, 2002).

Posiblemente la combinación de conocidos agentes preservativos y antioxidantes presentes en el jugo de piña (ácidos cítrico y ascórbico, alcoholes alifáticos, compuestos fenólicos, etc.) resulte suficiente para evitar el oscurecimiento enzimático en productos sensitivos como la manzana fresca sin que sean requeridos métodos de empaque especiales. Es requerida mayor experimentación para comprobar la utilidad del jugo de piña como agente preservativo del color en productos alimenticios.

Medición instrumental de textura. Respecto a la medición instrumental de textura (firmeza), hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos en el día 1 de almacenamiento, con valores de 1.03 a 1.36 newtons (Cuadro 2). Se presentó una pérdida del 20% de firmeza ($P < 0.05$) en la manzana tratada con bisulfito al día 14 comparada con su valor al día 1. Chalom *et al.* (1995) encontraron que los sulfitos aplicados a papa cambiaban el contenido de los carbohidratos y la fibra en este vegetal, dando como consecuencia una alteración en la estructura celular de la papa. Es posible que el tratamiento de inmersión en

la solución de bisulfito al 0.1% pudo causar un efecto similar en el tejido de la manzana, dando como resultado el reblandecimiento reportado. Asimismo, los valores de textura de la manzana tratada con agua destilada no cambió durante el tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$) en comparación con su textura del día 1.

Los anillos de manzana tratados con jugo de piña (empacados al vacío o bajo atmósfera regular) mantuvieron durante todo el tiempo de almacenamiento la textura que tuvieron el día 1 ($P > 0.05$). Es posible que el pH ácido del jugo de piña (3.5) haya contribuido para la estabilización de la pared celular en los anillos de manzana, resultando en el mantenimiento de los valores de textura del producto durante su almacenamiento, o quizás el jugo de piña afectó la actividad de enzimas degradativas de la pared celular en el producto, tales como la pectin metil esterasa. Se ha reportado que el pH ácido promueve el incremento de la actividad enzimática de la pectin metil esterasa, la cual es una enzima que participa en la formación de geles pecticos en la pared celular en productos vegetales (Willats *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

Los anillos de manzana Golden Delicious tratados con jugo de piña, independientemente del tipo de empaque que recibieron, no presentaron oscurecimiento enzimático ni su textura cambió durante los 21 días de almacenamiento a $5 \pm 1^\circ\text{C}$. Es posible que la combinación de conocidos agentes preservativos y antioxidantes presentes en el jugo de piña (ácidos cítrico y ascórbico, alcoholes alifáticos, compuestos fenólicos, etc.) resulte suficiente para evitar el oscurecimiento enzimático en productos sensitivos como la manzana. Se requiere experimentación adicional para comprobar la utilidad del jugo de piña como un efectivo agente preservador del color y la textura de productos alimenticios.

LITERATURA CITADA

- Abbot, J.A.; Harker, R. 2004. Texture. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 66. Disponible en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/021texture.pdf>. Accesado en Septiembre del 2004. Washington, D.C. E.U.
- Almeida, M.E.M.; Nogueira, J.N. 1995. The control of polyphenol oxidase activity in fruits and vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition* 47:245-246.
- Alzamora, S.M.; Castro, M.A.; Vidales, S.L.; Nieto, A.B.; Salvatori, D. 2000. The role of tissue microstructure in the textural characteristics of minimally processed fruits. En: S.M. Alzamora; M.S. Tapia; A.Lopez-Malo (eds.). *Minimally processed fruits and vegetables, fundamental aspects and applications*. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland, E.U. pp. 153-171.
- Amiot, M.J.; Tacchini, M.; Aubert, S.; Nicholas, J. 1992. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science* 57(4):958-963.
- Anzaldúa, M.A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp. 30-37.
- Barth, M.M.; Zhuang, H.; Saltveit, M.E. 2004. Fresh-cut vegetables. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 66. Disponible en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/147freshcutvegetables.pdf>. Accesado en Septiembre del 2004. Washington, D.C., E.U.
- Castañer, M.; Gil, M.I.; Artes, F.; Tomas Barberan, F.A. 1996. Inhibition of browning of harvested head lettuce. *Journal of Food Science* 61:314-316.
- Chalom, S.; Elrezzi, E.; Peña, P.; Astiarsaran, I.; Bello, J. 1995. Composition of sulfited potatoes: comparason with fresh and frozen potatoes. *Plant Foods for Human Nutrition* 47:133-138.
- Ferreira, M.D.; Brecht, J.K.; Sargent, S.A.; Aracena, J.J. 1994. Physiological responses of strawberry to film wrapping and precooling methods. *Proceedings of the Florida State Horticulture Society* 107:265-269.
- Gil, M.I.; Gorny, J.R.; Kader, A.A. 1998. Responses of "Fuji" apple slices to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. *Hortscience* 33(2):305-309.
- Jay, J.M. 2000. *Modern Food Microbiology*. Aspen Publishers. Gaithersburg, Maryland, E.U. pp 283-284.
- Kupferman, E. 2002. Observations on harvest maturity and storage of apples and pears. Tree Fruit Research and Extensión Center. Washington State University. Disponible en: <http://www.postharvest.tfrec.wsu.edu/EMK2000A.pdf>. Accesado en Agosto del 2005. Wenatchee, Washington, E.U.
- Link, S.O. 2004. Prediction of apple firmness from mass loss and shrinkage. *Journal of Food Quality* 27:13-26.
- Lozano de González, P.G.; Barret, D.M.; Wrolstad, R.E.; Durst, R.W. 1993. Enzymatic browning inhibited in fresh and dried apple rings by pineapple juice. *Journal of Food Science* 58:399-404.
- Meza Velázquez J.A.; Meza Velázquez F.; Lozano de González, P.; Jiménez-Castro, J.A.; Anzaldúa Morales, A. 2002. Cinética de inhibición del oscurecimiento enzimático en rebanadas de

- manzana y en un sistema modelo por medio de la adición de jugo de piña. *Agrofaz* 2:181-185.
- Molnar-Perl, I.; Friedman, M. 1990. Inhibition of browning by sulphur aminoacids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38:1642-1647.
- Mondy, N.I.; Pettersen, S.E. 1969. Sulfur dioxide effect on the lipid content of potatoes. *Food Technology* 23:101-130.
- Monsalve González, A.; Barbosa Canovas, G.V.; Cavalieri, R.P.; McEvily, A.J.; Iyengar, R. 1993. Control of browning during storage of apple slices preserved by combined methods, 4-hexilresorcinol as anti-browning agent. *Journal of Food Science* 58:797-799.
- Prakash, A.; Guner, A.R.; Caporaso, F.; Foley, D.M. 2000. Effects of low-dose gamma irradiation on the shelf life and quality characteristics of cut romaine lettuce packaged under modified atmosphere. *Journal of Food Science* 65:549-553.
- Saltveit, M.E. 2004. Respiratory metabolism. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 66. Disponible en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/019respiration.pdf>. Accesado en Septiembre del 2004. Washington, D.C.: E.U.
- Sapers, G.M.; Hicks, K.B.; Phillips, J.C.; Garzarella, L.; Pondish, D.L.; Matulaitis, R.M.; McCormack, T.J.; Sondey, S.M.; Seib, P.A.; Ei-Atawy, Y.S. 1989. Control of enzymatic browning in apple with ascorbic acid derivates, poliphenol oxidase inhibidores, and complexing agents. *Journal of Food Science* 54:997-1002.
- Sapers, G.M.; Miller, R.L. 1992. Enzymatic browning control in potato with ascorbic acid-2-phosphates. *Journal of Food Science* 57:1132-1136.
- Sapers, G.M. 1993. Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants, and other means. *Food Technology* 47:75-84.
- Sapers, G.M.; Miller, R.L. 1993. Control browning in pre-peeled potatoes by surface digestion. *Journal of Food Science* 58:1076-1078.
- SAS. 1995. Statistical Software for the Macintosh, JMP Version 3.1.5. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, E.U.
- Takeoka, G.R.; Buttery, R.G.; Teranishi, R.; Flath R.A.; Gyntert, M. 1991. Identification of additional pineapple volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39:1848-1851.
- Taylor, S.L. 1993. Why sulfite alternatives? *Food Technology* 47:14-18.
- Tomas Barberan, F.A.; Gil, M.I.; Castañer, M.; Artes, F.; Saltveit, M.E. 1997. Effect of selected browning inhibitors on phenolic metabolism in stem tissue of harvested lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45:583-589.
- Valero, E.; Varón, R.; García Carmona, F. 1990. Inhibition of grape poliphenol oxidase by several natural aliphatic alcohols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38:1097-1100.
- Wen, L.; Wrolstad, R.E. 2002. Phenolic composition of authentic pineapple juice. *Journal of Food Science* 67(1):155-161.
- Willats, W.G.T.; McCartney, L.; Mackie, W.; Knox, J.P. 2001. Pectin: cell biology and prospects for functional analysis. *Plant Molecular Biology* 47:9-27.
- Wu, P.; Kuo, M.; Hartman, T.G.; Rosen, R.T.; Ho, Ch. 1991. Free and glycosidically bound aroma compounds in pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39:170-172.

Cuadro 1. Resultados¹ de la medición instrumental de color (parámetro a^*) de anillos de manzana tratados y almacenados a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ por 21 días

TRATAMIENTO	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (días)			
	1	7	14	21
Jugo de piña con empaque al vacío ²	1.12 ± 1.27 aA	2.17 ± 0.48 abA	2.08 ± 0.47 bA	2.230 ± 0.55 bA
Jugo de piña con empaque bajo atmósfera regular ³	-1.76 ± 0.50 bA	-1.06 ± 0.58 cA	-0.74 ± 0.70 cA	-0.85 ± 0.61 cA
Bisulfito al 0.1% con empaque al vacío ⁴	1.80 ± 1.67 aA	1.20 ± 1.16 bA	-0.33 ± 1.34 cB	-0.40 ± 0.29 cB
Agua destilada con empaque al vacío ⁵	2.37 ± 0.82 aA	2.27 ± 1.98 abA	2.84 ± 2.34 bA	2.83 ± 1.35 bA

DMS = 1.59

¹ Medias ± desviación estándar de las repeticiones (r = 4, n = 40) reportados en unidades de color a^* . Diferencias entre las medias fueron determinadas mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($P < 0.05$).

² Inmersión en jugo de piña con empaque al vacío, ³ inmersión en jugo de piña con empaque bajo atmósfera regular, ⁴ inmersión en bisulfito con empaque al vacío, ⁵ inmersión en agua destilada con empaque al vacío.

Valores en una columna seguidos de diferente letra minúscula tienen diferencia significativa ($P < 0.05$).

Valores en un renglón seguidos de diferente letra mayúscula tienen diferencia significativa ($P < 0.05$).

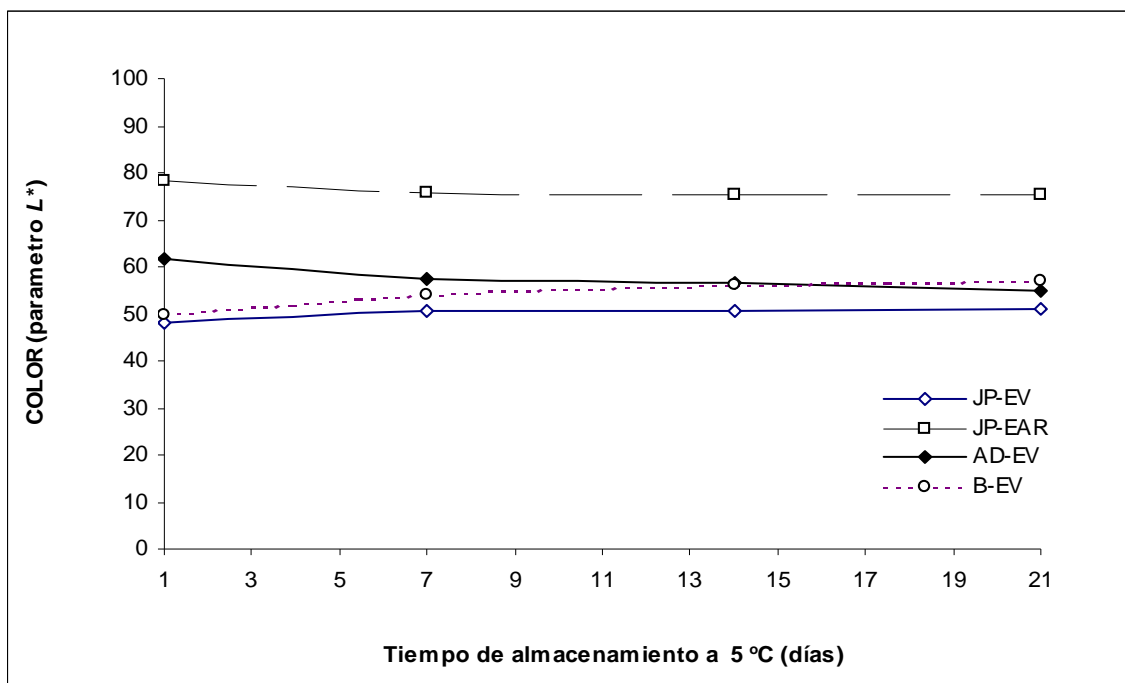


Figura 1. Medias (en unidades de color L^*) de las mediciones de color instrumental de anillos de manzana tratados (JP-EV es inmersión en jugo de piña con empaque al vacío; JP-EAR es inmersión en jugo de piña con empaque bajo atmósfera regular; AD-EV es inmersión en agua destilada con empaque al vacío; B-EV es inmersión en bisulfito con empaque al vacío), y almacenados por 21 días a $5 \pm 1^\circ\text{C}$. Diferencia Mínima Significativa = 4.02 ($P < 0.05$)

Cuadro 2. Resultados¹ de la medición de textura (firmeza) de anillos de manzana tratados y almacenados a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ por 21 días

TRATAMIENTO	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (días)			
	1	7	14	21
Jugo de piña con empaque al vacío ²	1.36 ± 0.06 aA	1.43 ± 0.06 aA	1.36 ± 0.08 aA	1.31 ± 0.09 aA
Jugo de piña con empaque bajo atmósfera regular ³	1.20 ± 0.09 bA	1.24 ± 0.15 bA	1.29 ± 0.05 aA	1.27 ± 0.09 aA
Bisulfito al 0.1% con empaque al vacío ⁴	1.27 ± 0.12 abA	1.22 ± 0.12 bA	1.06 ± 0.03 bB	1.05 ± 0.03 bB
Agua destilada con empaque al vacío ⁵	1.05 ± 0.10 cA	1.10 ± 0.08 cA	1.01 ± 0.06 bA	1.01 ± 0.05 bA

DMS = 0.12

¹ Medias ± desviación estándar de las repeticiones ($r = 4$, $n = 60$) reportados en newtons. Diferencias entre las medias fueron determinadas mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($P < 0.05$).

² Inmersión en jugo de piña con empaque al vacío, ³ inmersión en jugo de piña con empaque bajo atmósfera regular, ⁴ inmersión en bisulfito con empaque al vacío, ⁵ inmersión en agua destilada con empaque al vacío.

Valores en una columna seguidos de diferente letra minúscula tienen diferencia significativa ($P < 0.05$).

Valores en un renglón seguidos de diferente letra mayúscula tienen diferencia significativa ($P < 0.05$).

