

OPTIMIZACIÓN DE TRATAMIENTOS ANTIPARDEANTES EN BERENJENAS IV GAMA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Lemos L.⁽¹⁾⁽²⁾, Gutiérrez D.⁽¹⁾⁽²⁾, Disalvo A.⁽²⁾, Rodríguez S.⁽¹⁾⁽²⁾

(1) CITSE-CONICET-UNSE. RN 9 km 1125, El Zanjón, CP 4200. Santiago del Estero-Argentina. (2) ICyTA. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero-Argentina. E-mail: silviadepece@hotmail.com.

Fecha de recibido: 4-October-2017

Fecha de aceptado: 20-Diciembre-2017

Palabras Clave: *Solanum melongena*, IV gama, tratamiento antioxidante, modelado matemático.

RESUMEN

Uno de los principales problemas del procesamiento de berenjenas (*Solanum melongena*) IV gama es su rápido pardeamiento enzimático en la superficie de corte. El objetivo de este trabajo fue encontrar el tratamiento antipardeante más conveniente para berenjenas mínimamente procesadas, utilizando la metodología de superficie de respuesta. Para encontrar la mejor combinación de tratamiento térmico, láminas de berenjenas, de la variedad black nite, se sumergieron en agua a diferentes temperatura y tiempo de inmersión, establecidas de acuerdo a un Diseño Central Compuesto. Posteriormente, se trataron con una solución refrigerada de ácido ascórbico al 1.0% durante 3 min. Luego, se envasaron en bolsas polipropileno de 35 μm y almacenaron a 4 °C. Periódicamente, se realizó un análisis sensorial (apariencia general y pardeamiento) y variación del color objetivo (L^* , a^* y b^*), determinándose el índice de pardeamiento de los tratamientos aplicados. Los resultados fueron analizados por el método de superficie de respuesta, a través de un análisis de regresión múltiple, utilizando el método de mínimos cuadrados. A partir de ello, se obtuvieron modelos matemáticos cuadráticos para los días 0, 4 y 8 de almacenamiento. Así, se determinó que el menor índice de pardeamiento y las mayores puntuaciones de apariencia general y pardeamiento, se obtuvieron para la combinación 50 °C y 60 s. Por lo tanto, mediante esta combinación de tratamientos, es factible procesar láminas de berenjenas inhibiendo la oxidación del tejido en la superficie cortada, conservando su calidad sensorial durante 8 días.

OPTIMIZATION OF TREATMENTS AS INHIBITORS OF BROWNING IN EGGPLANTS IV GAMA, THROUGH RESPONSE SURFACE METHOD

Keywords: *Solanum melongena*, IV gama, antioxidant treatment, mathematical modeling.

ABSTRACT

One of the main problems of processing eggplant (*Solanum melongena*) IV range is its rapid enzymatic browning. The aim of this study was to optimize antipardeantes treatments, using response surface methodology. We worked with eggplant black nite variety. To find the best combination of heat treatment, eggplants slices were immersed in water at different temperature and time established by a Central Composite Design. Then they treated with a solution of ascorbic acid 1% 3 min. Then they were packed in polypropylene bags 35 μm and stored at 4 °C. Periodically, sensory analysis (general appearance and browning) and color variation (L^* , a^* and b^*) is performed, determining the browning index. The results were analyzed by the response surface method, through multiple regression analysis using the method of least squares. From this, quadratic mathematical models for the days 0, 4 and 8 storage were obtained. It was determined that the lowest rate of browning and better overall appearance were obtained for 50 °C 60 s. Therefore, it is possible to process sheets of eggplants retarding tissue oxidation and retains its sensory quality for 8 days.

INTRODUCCIÓN

La comercialización y consumo de vegetales mínimamente procesados ha aumentado significativamente en los últimos años. Sin embargo, son todavía objeto de estudio debido a las dificultades en la preservación de su calidad de frescos durante períodos prolongados (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003). Los vegetales mínimamente procesados (VMP), han cobrado gran relevancia a nivel mundial ya que los consumidores prefieren productos de alta calidad y listos para ser utilizados o consumidos. Éstos, frente a los productos frescos, presentan la desventaja de que su vida útil es menor debido al procesamiento que han sufrido y su conservación es crítica debido a los daños físicos ocurridos en los tejidos vegetales durante el proceso. Estos daños aceleran el metabolismo provocando deterioro de características sensoriales deseables, pérdida de nutrientes, así como desarrollo de microorganismos, que llevan a un rápido decaimiento de la calidad y acortamiento de la vida útil. Es así que los principales problemas asociados a VMP son el desarrollo de olores no característicos y podredumbres, modificaciones del color y ablandamiento los tejidos (Toivonen and Brummell, 2008).

Por lo tanto, encontrar métodos que ayuden a frenar el deterioro de VMP constituye uno de los principales objetivos de la industria del sector.

Las berenjenas (*Solanum Melongena*), debido a un procesamiento mínimo, su calidad se ve afectada ya que se vuelven susceptibles al pardeamiento enzimático, causando un deterioro en sus características sensoriales, lo que disminuye la aceptación por parte del consumidor.

Los distintos procesamientos, tales como los cortes, producen un daño en el tejido ya que la compartimentación subcelular se irrumpe en la superficie de corte, permitiendo que las enzimas, principalmente la polifenol

oxidasa (PPO), entren en contacto con sustratos iniciando reacciones que producen el pardeamiento enzimático, cambio en la textura, etc. (Barbagallo et al, 2009; Mishra et al., 2012), produciendo pigmentos responsables del color oscuro indeseable que hace que el producto no sea apto para el mercado.

Debido a ello, se han generado distintas aplicaciones, de manera combinada e inteligente, de tratamientos físicos, químicos y biológicos que permitan el desarrollo de lo que se denomina tecnologías de barreras múltiples, referida a la combinación de técnicas de conservación clásicas (temperatura, a_w , pH, conservantes químicos, etc.) junto con otras técnicas (envasado al vacío o en atmósferas modificadas, radurización, alta presión hidrostática, bioconservación, etc.), con el fin de conservar las frutas y hortalizas por mayor tiempo y con muy buena calidad (Alzamora, S. M., 2000).

Por ello, varios métodos tales como inmersión en una amplia gama de soluciones antioxidantes (por ejemplo, ácidos orgánicos, cisteína, 4 - hexilresorcinol) en diferentes concentraciones (Pérez-Gago et al., 2010, Barbagallo et al., 2012), el tratamiento con vapor de etanol (Hu et al., 2010), así como un shock térmico, se han utilizado para inhibir las actividades de la PPO, ya que pueden reducir la etapa de polimerización de las reacciones de pardeamiento (Morishita Y Ohnishi, 2001; Kwak y Lim, 2005). Técnicas convencionales como tratamientos térmicos a diferentes temperaturas y tiempos, dependiendo de los requerimientos del vegetal, ayudan a prevenir el pardeamiento. Así, el shock térmico, se ha aplicado con éxito para evitar las reacciones de pardeamiento y para extender el almacenamiento poscosecha de los vegetales recién cortados (Ansorena et al., 2011; Martín-Diana et al., 2006).

Debido a esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de barreras múltiples para la inhibición del pardeamiento

enzimático, mediante la inmersión de láminas de berenjenas en agua destilada a diferentes combinaciones de temperaturas-tiempos, seguidas de una solución antioxidante de ácido ascórbico al 1%, su posterior envasado con un film de polipropileno de 35 μ y almacenamiento a 4°C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de berenjenas mínimamente processadas. Las berenjenas, de la variedad Black Nite, se adquirieron de un mercado local de la provincia de Santiago del Estero. Se seleccionaron de acuerdo a un tamaño y color de la piel uniforme, libre de imperfecciones.

Los frutos se lavaron primero con agua potable, se escurrieron y desinfectaron con agua clorada 150 ppm - 3 min. Luego, se cortaron en láminas de 0,8 cm de espesor aproximadamente usando una cuchilla afilada y desinfectada, seguida de una inmersión en agua potable para eliminar los jugos y reducir el pardeamiento.

Ácido ascórbico. El ácido ascórbico de grado técnico (99,9%) se adquirió de una industria local de la provincia de Santiago del Estero, con él se preparó una solución al 1% con agua destilada refrigerada a 5°C.

Preparación de los tratamientos. Todas las combinaciones y repeticiones del tratamiento térmico se obtuvieron de acuerdo a un Diseño Central Compuesto, variando la temperatura y tiempo de inmersión de las láminas de berenjena en agua destilada, obteniéndose variaciones de temperatura entre 35 y 65 °C, y tiempos desde 17 hasta 102 s, realizándose un total de 11 experiencias.

Luego de drenar las láminas lavadas con agua, se sumergieron inmediatamente en un baño a 5 °C con solución de ácido ascórbico (pH 4,5) al 1%, durante 3 min. Esta concentración fue utilizada de acuerdo a resultados previos obtenidos por otros autores en manzanas (Gómez, 2009) y berenjenas

(Hussain et al., 2014), con el fin de inhibir la actividad polifenol oxidasa en los productos cortados.

Posteriormente, se envasaron 3 láminas en bandejas de polipropileno (17,4 cm x 13,8 cm x 4,8 cm, Cellpack SA, Santa Fé, Argentina), y se recubrieron con polipropileno de 35 μ m (tasa de transmisión de O₂ de 5,000 mL O₂/m²/24 h/atm, de CO₂ de 18,000 mL CO₂/m²/24h/atm y de vapor de agua de 110 g/m 24 h/atm) y se almacenaron a 4 °C durante 8 días.

Evaluación sensorial. Durante el almacenamiento, se realizó un análisis sensorial de las láminas de berenjenas durante los días 0, 4 y 8 de almacenamiento, mediante un panel semientrenado de 10 personas, evaluando su apariencia general y pardeamiento. Los diferentes parámetros de calidad fueron evaluados utilizando una escala de 1 a 9, donde 1 = muy malo, 5 = aceptable y 9 = excelente. Se asignaron números intermedios, según corresponda (Ghidelli et al., 2014).

Parámetros de color

El color objetivo en la superficie de corte de las berenjenas IV gama fue determinando mediante el uso del equipo Minolta Chroma Meter modelo CR-300 (Osaka, Japón). Para ello, se analizaron tres bandejas por tratamiento tomadas al azar, con un total de tres láminas de berenjena por bandejas. Según el estándar CIE lab, los parámetros L* (luminosidad), a* (tonalidad rojo-verde) y b* (tonalidad amarillo-azul), se utilizaron para medir el índice de pardeamiento (BI), mediante el uso de la siguiente fórmula (Bal et al., 2011):

$$BI = \frac{(x - 0,31) \cdot 100}{0,17}$$

Donde,

$$x = \frac{(a + 1,75 \cdot L)}{(5,645 \cdot L + a - 3,012 \cdot b)}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron diferentes combinaciones de temperatura y tiempo de inmersión de las láminas de berenjenas en agua destilada, seguido de un baño en una solución de ácido ascórbico al 1% para inhibir el pardeamiento enzimático. A partir de ellos, se obtuvieron modelos matemáticos para describir el comportamiento del pardeamiento bajo las condiciones de almacenamiento establecidas durante los días 0,4 y 8.

Los cuadros 1, 2 y 3 muestran las combinaciones realizadas de los parámetros temperatura y tiempo inmersión para los días de almacenamiento evaluados, siguiendo un diseño central compuesto, con un total de 11

experiencias. Se determinó la influencia de estos parámetros sobre la inhibición del pardeamiento.

Estos resultados fueron analizados aplicando la metodología de superficie de respuesta (MSR), mediante una regresión múltiple. La MSR, como se conoce, es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas utilizadas para modelar y analizar problemas en donde una variable de interés es influenciada por otras. El objetivo es optimizar la variable de interés, mediante la determinación de las condiciones óptimas de operación del sistema.

Cuadro 1. Tratamientos del diseño central compuesto. Resultados experimentales obtenidos para la inhibición del pardeamiento enzimático de láminas de berenjenas para el día 0 de almacenamiento.

Condiciones Experimentales			Evaluación sensorial		Parámetros de color
Ensayo	T (°C)	Tiempo (s)	Apariencia General	Pardeamiento	Índice de pardeamiento
1	40 (-1)	30 (-1)	9.00	9.00	17.67
2	40 (-1)	90 (1)	9.00	9.00	18.16
3	60 (1)	30 (-1)	8.00	8.00	19.09
4	60 (1)	90 (1)	8.00	8.00	21.16
5	50 (0)	60 (0)	9.00	9.00	18.11
6	50 (0)	60 (0)	9.00	9.00	18.17
7	50 (0)	60 (0)	9.00	9.00	17.99
8	35,9 (- α)	60 (0)	8.00	8.00	18.00
9	64,1 (α)	60 (0)	8.00	8.50	22.21
10	50 (0)	17,7 (- α)	8.00	8.50	17.00
11	50 (0)	102,3 (α)	8.00	8.50	19.01

Cuadro 2. Tratamientos del diseño central compuesto. Resultados experimentales obtenidos para la inhibición del pardeamiento enzimático de láminas de berenjenas día 4 de almacenamiento.

Condiciones Experimentales			Evaluación sensorial		Parámetros de color
Ensayo	T (°C)	Tiempo (s)	Apariencia General	Pardeamiento	Índice de pardeamiento
1	40 (-1)	30 (-1)	6.30	5.45	23.28
2	40 (-1)	90 (1)	6.30	5.45	24.45
3	60 (1)	30 (-1)	6.30	5.45	27.24
4	60 (1)	90 (1)	6.30	5.45	26.35
5	50 (0)	60 (0)	8.00	8.50	18.47
6	50 (0)	60 (0)	8.00	8.50	19.42
7	50 (0)	60 (0)	8.00	8.50	19.87
8	35,9 (- α)	60 (0)	2.15	2.45	26.37
9	64,1 (α)	60 (0)	2.15	2.45	31.52
10	50 (0)	17,7 (- α)	7.75	8.50	24.49
11	50 (0)	102,3 (α)	7.75	8.50	22.03

Cuadro 3. Tratamientos del diseño central compuesto. Resultados experimentales obtenidos para la inhibición del pardeamiento enzimático de láminas de berenjenas día 8 de almacenamiento.

Ensayo	Condiciones Experimentales		Evaluación sensorial		Parámetros de color
	T (°C)	Tiempo(s)	Apariencia General	Pardeamiento	Índice de pardeamiento
1	40 (-1)	30 (-1)	4.10	3,90	22,10
2	40 (-1)	90 (1)	4.20	4,00	22,00
3	60 (1)	30 (-1)	4.70	4,50	21,90
4	60 (1)	90 (1)	4.50	4,30	21,70
5	50 (0)	60 (0)	6.40	6.00	19,40
6	50 (0)	60 (0)	6.40	6.00	19,40
7	50 (0)	60 (0)	6.40	6.00	19,40
8	35,9 (- α)	60 (0)	2.30	2.10	22,05
9	64,1 (α)	60 (0)	2.30	2.10	22,05
10	50 (0)	17,7 (- α)	4.10	3.90	22,10
11	50 (0)	102,3 (α)	4.10	3.90	22,10

De esta forma y a través de los puntos que resultan de la respuesta del problema estudiado, y de la utilización de la función de regresión, se puede obtener un polinomio o función base de primer o segundo grado.

Los coeficientes de la función base se estimaron con una regresión matemática, utilizando el método de mínimos cuadrados. Así, luego de realizar el análisis estadístico, se determinó que los resultados experimentales se ajustaron, en su mayoría, a un modelo

cuadrático para los días 4 y 8 de almacenamiento.

Estos modelos describen la influencia de los factores investigados en forma independiente, tanto para temperatura como para tiempo de inmersión, y el efecto de ambos de manera cuadrática.

Los coeficientes encontrados, se muestran en los cuadros 4, 5 y 6, para los días 0, 4 y 8 de almacenamiento respectivamente.

Cuadro 4. Coeficientes de regresión de los modelos reducidos para el tiempo y temperatura de inmersión de berenjenas IV gama en apariencia General.

día	Coeficiente independiente	Coeficiente de Interacción	coeficientes lineal		coeficientes cuadrático		R ²
			T (°C)	tiempo(s)	T(°C)	tiempo(s)	
0	9.000	0	0	0	0	0	0.90
4	-5.601	0	0.519	0	-0.0052	0	0.95
8	-2.982	0	0.312	0.046	-0.0031	-0.0004	0.97

Cuadro 5. Coeficientes de regresión de los modelos reducidos para el tiempo y temperatura de inmersión de berenjenas IV gama.

Pardeamiento							
día	Coeficiente independiente	Coeficiente de Interacción	coeficientes lineal		coeficientes cuadrático		R ²
			T (°C)	tiempo(s)	T(°C)	tiempo(s)	
0	9.000	0	0	0	0	0	0.93
4	-6.763	0	0.609	0	-0.0061	0	0.94
8	0.434	0	0.182	0.027	-0.0018	-0.0002	0.98

Cuadro 6. Coeficientes de regresión de los modelos reducidos para el tiempo y temperatura de inmersión de berenjenas IV gama.

Browning Index							
día	Coeficiente independiente	Coeficiente de Interacción	coeficientes lineal		coeficientes cuadrático		R ²
			T (°C)	tiempo(s)	T(°C)	tiempo(s)	
0	39.06	0.002	-1.904	0	0.020	0	0.84
4	260.10	0	-9.59	-0.44	0.10	0.005	0.92
8	91.17	0	-2.584	-0.345	0.026	0.003	0.80

De acuerdo al análisis de resultados, el parámetro más significativo fue la temperatura de inmersión del agua en todos los días de almacenamiento estudiados. En todos los casos, el tiempo influye en la prevención del pardeamiento de las láminas de berenjena pero en menor grado, y solo en un caso (BI para el día 0) se evidencia el efecto de la interacción de estas variables.

Las figuras 1, 2 y 3 representan las superficies de respuesta para las variables analizadas, en los tiempos de almacenamiento estudiados.

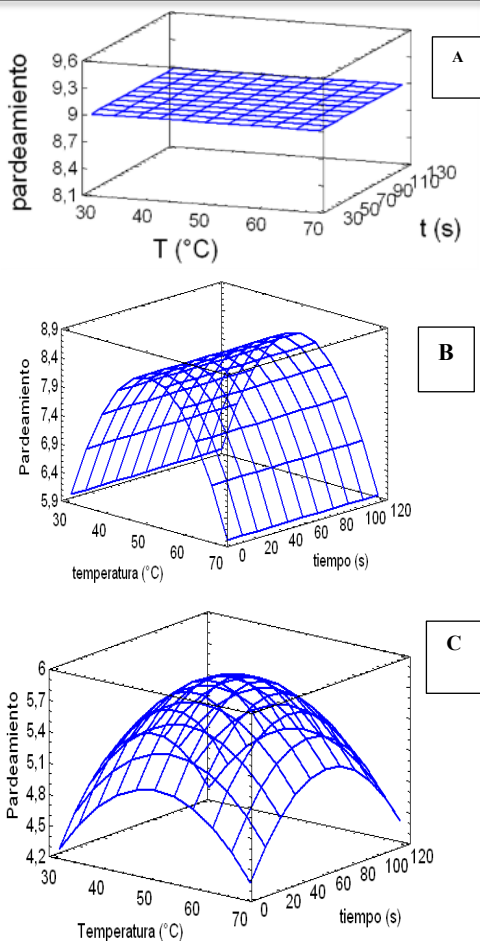


Figura 1. Superficie de respuesta del parámetro Pardeamiento de berenjenas IV gama cv. Black nite al día 0 (A), 4 (B) y 8 (C) de almacenamiento a 4°C.

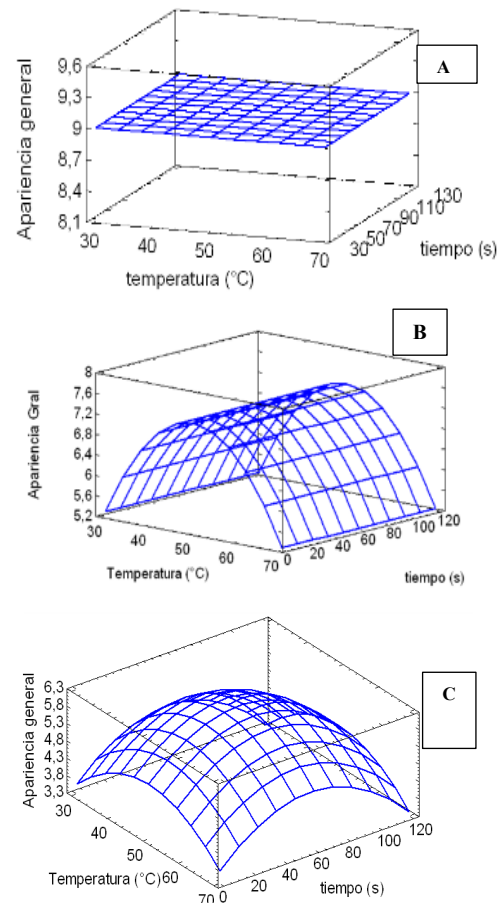


Figura 2. Superficie de respuesta del parámetro Apariencia general de berenjenas IV gama cv. Black nite al día 0 (A), 4 (B) y 8 (C) de almacenamiento a 4°C.

Se observó que las temperaturas, en el intervalo de 30-40 °C, no generaron un efecto significativo en la inhibición del pardeamiento de las berenjenas IV gama, mostrando altos valores del parámetro BI, y puntuaciones por debajo del límite de aceptación comercial para Apariencia general y Pardeamiento al día 8 de almacenamiento. Al mismo tiempo, la aplicación de tiempos prolongados, 80 - 120 s, tampoco logró disminuir el pardeamiento, generando un aspecto a cocido sobre la superficie de corte. Por lo tanto, se encontró que estas combinaciones no son las adecuadas para inhibir el cambio de color en berenjenas IV gama.

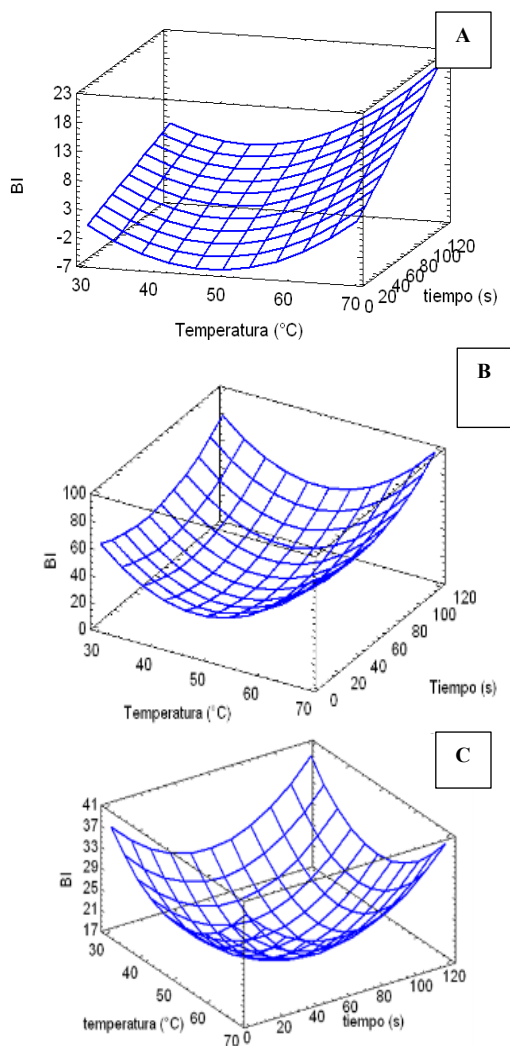


Figura 3. Superficie de respuesta del parámetro Browning Index (BI) de berenjenas IV gama cv. Black nite al día 0 (A), 4 (B) y 8 (C) de almacenamiento a 4°C.

Sin embargo, temperaturas comprendidas entre 45-55 °C y tiempos de inmersión entre 50 - 70 s, presentaron mejores resultados en cuanto a inhibición del pardeamiento en la superficie de corte, con valores de evaluación organoléptica muy por encima del límite de comerciabilidad. Por lo tanto, se podría decir que estas zonas de trabajo, son capaces de inhibir y mantener la calidad de las berenjenas cortadas. Resultados similares fueron encontrados por otros autores en rábanos mínimamente procesados, considerando el

mejor tratamiento combinado a 50°C- 1 min y 0,3% ácido cítrico, capaz de inhibir el pardeamiento (Goyeneche y col., 2014).

CONCLUSIONES

Las combinaciones de tratamientos térmicos y la posterior inmersión en ácido ascórbico, como solución antioxidante, permitió obtener modelos matemáticos para la inhibición del pardeamiento enzimático de berenjenas en láminas mínimamente procesadas.

La aplicación de 50 °C - 60 s, seguido de una inmersión en ácido ascórbico al 1.0 % resultó ser la combinación óptima de procesamiento para las berenjenas cortadas, en términos de la inhibición del pardeamiento enzimático, y mantenimiento de la calidad visual durante 8 días de almacenamiento a 4 °C.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ansorena, M.R., Marcovich, N.E., Roura, S.I., 2011. Impact of edible coatings and mildheat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. *Postharvest Biol. Technol.* 59: 53–63.
- Alzamora, S. M. (2000). Procesamiento mínimo de alimentos: Un enfoque combinado, *Las tecnologías emergentes. Énfasis Alimentación.* 6 (5): 98-105.
- Bal, L. M., Kar, A., Santosh, S., & Naik, S. N. (2011). Kinetics of colour change of bamboo shoot slices during microwave drying. *International Journal Food Science and Technology*, 46: 827–833.
- Barbagallo, R.N., Chisari, M., Caputa, G., 2012. Effects of calcium citrate and ascorbate as inhibitors of browning and softening in minimally processed 'Birgah' eggplants. *Postharvest Biol. Technol.* 73: 107–114.
- Ghidelli C., Mateos M., Rojas-Argudo C., Pérez-Gago M. B., 2014. Extending the shelf life of fresh-cut eggplant with a soy protein–cysteine based edible coating and modified

atmosphere packaging. *Postharvest Biol. and Technology*. 95: 81–87.

Goyeneche R., María V. Agüero M.V, Roura S., Di Scala K. Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: Color evaluation. *Postharvest Biol. And Technology*. 93: 106-113.

Hussain Peerzada R., Omeera A, Prashant P. Suradkar, Mohd A. Dar et al 2014: Effect of combination treatment of gamma irradiation and ascorbic acid on physicochemical and microbial quality of minimally processed eggplant (*Solanum melongena* L.). *Radiation physics and chemistry*. 103: 131-141.

Mishra, B.; Gautam,S.; Sharma, A. 2012. Browning of fresh-cut eggplant: Impact of cutting and storage. *Postharvest Biology and Technology* 67: 44–51.

Morishita H., Ohnishi M., 2001, Absorption, metabolism and biological activities of chlorogenic acids and related compounds. *Studies in Natural Products Chemistry*, 25: 919-953.

Soliva-Fortuny, R. C.; Martín-Belloso, O. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 341–353.

Toivonen, P.M.A., Brummell, D.A., 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 48, 1–14.