

Degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo de papaya Maradol (*Carica papaya*).

Ortíz-Yescas G.^{1*}, Romero-Cortés T.¹, Cuervo-Parra JA¹, Tamayo-Rivera L.¹, Morales-Peñaloza A.¹, Rodríguez-Jimenes G. C.², García-Alvarado M.A.² Robles-Olvera V.J.²

1: Escuela Superior de Apan- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma, Hidalgo. México.

2: Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos- Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver. México. yescas@uaeh.edu.mx^{*}

Resumen. La papaya (*Carica papaya*) es una fruta frágil y perecedera, durante su cosecha se observan pérdidas causadas por contaminación, al secado se le considera una alternativa para reducir dichas pérdidas; siendo éste uno de los métodos de conservación más empleados para la preservación de alimentos; sin embargo, puede inducir cambios físicos y químicos provocando la degradación de la calidad del producto final, por lo que se empleó al ácido ascórbico como indicador de calidad para poder inferir acerca del grado de severidad del procesamiento aplicado. Se realizaron cinéticas experimentales de secado. Con los datos obtenidos se representó un modelo que describe la evolución del ácido ascórbico, descrito en términos de una cinética irreversible de primer orden. De las variables evaluadas: temperatura (50, 60 y 70 C), humedad en la muestra (0.1 y 15 g.gss⁻¹) velocidad de aire (1.5 y 2.5 m/s) y espesor de la rebanada (1.0 y 1.5 cm) se encontró que, bajo las condiciones probadas, la temperatura fue la variable que más afectó la degradación del ácido ascórbico, no así la velocidad de aire, humedad y espesor de la rebanada cuyos efectos no fueron significantes.

Palabras clave: Ácido ascórbico, secado convectivo, Papaya.

Abstract: Papaya (*Carica papaya*) is a fragile and perishable fruit, during harvest losses are observed by contamination, drying is considered an alternative to reduce these losses, and this is one of the most widely used conservation methods to preserve food, however, may induce chemical and physical changes resulting in the degradation of the quality of the final product, so that the ascorbic acid was employed as a quality indicator for measuring the degree of severity of the processing applied. Experimentals kinetics were performed during drying. The data obtained are represented in a model that describes the evolution of ascorbic acid in terms of a first-order irreversible kinetics. Of the variables evaluated: temperature (50, 60 and 70 C), moisture of the sample (0.1 and 15 g.gss⁻¹) air velocity (1.5 and 2.5 m / s) and slice thickness (1.0 and 1.5 cm) is found that under the conditions tested, the temperature was the variable that most affected the degradation of ascorbic acid, on the other hand, in the case of air velocity, humidity and thickness of the slice its effects were not significant.

Palabras clave: Ascorbic acid, convective drying, Papaya.

Introducción:

La papaya (*Carica papaya*) es una especie originaria de América Central que pertenece a las Caricáceas (Storey, 1976). Esta fruta se desarrolla en casi todas las áreas tropicales del mundo. Los principales países productores de este cultivo son la India, Brasil y México. Para el año 2007, la producción mundial se estimó en cerca de 9 millones de toneladas métricas (FAO 2010). El cultivo tradicional de papaya en México es de pulpa amarilla y pulpa roja se produce todo el año en zonas tropicales y subtropicales (Vasquez *et al.*, 2008). En el 2007, México ocupó el segundo lugar a nivel mundial en la producción de papaya fresca. Se produjeron alrededor de 919 mil toneladas, lo que representa aproximadamente el 13% del volumen mundial y un aumento del 88% con respecto a los niveles alcanzado en 1994 (FAOSTAT, 2008). La fruta se consume domésticamente;

sin embargo, existe una creciente demanda tanto nacional como internacional debido a su buena calidad gustativa y a su alto valor nutricional, sin embargo, es una fruta frágil y perecedera (Paull, 1993); a tal grado que durante su cosecha se observan pérdidas causadas por contaminación con hongos patógenos y ciertas variedades de virus (Martins y Farias, 2002; Paul *et al.*, 1997; Rivas *et al.*, 2003) y debido al interés en esta fruta para exportación al mercado internacional se le ha sometido a diferentes técnicas de conservación como: refrigeración, atmósferas controladas, uso de biopelículas, entre otras (Adetuyi *et al.*, Almeida *et al.*, 2011; 2008; Cereda *et al.*, 2005). Sin embargo, son requeridos grandes espacios para su almacenamiento (Zhou *et al.*, 2004), por lo que, al secado, se le considera una buena alternativa para reducir pérdidas y los espacios que se requieren para su almacenamiento (Reis *et al.*, 2006).

El secado, uno de los procesos más antiguos utilizados para la preservación de los alimentos (Fan *et al.*, 2005; Mujundar, 2005; Negy y Roy, 2001), es la forma más rápida, sencilla y económica para conservarlos (Frías y Oliveira 2001). Es una técnica basada en la eliminación de agua para darle estabilidad microbiana, reducir reacciones químicas deteriorativas (Hawlder *et al.*, 2006), aumentar la vida de anaquel del producto y reducir gastos de almacenamiento y transporte (Bimbenet, 1978). El secado es una operación esencial en diversas áreas: química, agricultura, biotecnológica, alimentos, cerámica, farmacéutica, papel, procesamiento de minerales así como en industrias procesadoras de madera (Mujundar, 2007). Un proceso de secado eficiente debería de cumplir con las siguientes especificaciones: evitar los cambios indeseables, mantener la apariencia natural y retener nutrientes, la calidad del producto y, minimizar el consumo de energía durante el secado y reducir el impacto sobre el ambiente (Montero, 2005). Por otro lado, el secado por aire caliente ha sido el método de deshidratación más usado y conocido en la industria de los alimentos y en la química (Kroquida, 2003; Sablani, 2006) por ser uno de los métodos más simples y económicos (Mujundar, 2007). A pesar de que el secado es uno de los métodos de conservación más usados en alimentos, se pueden provocar cambios fisicoquímicos y afectar las propiedades de calidad del producto deshidratado; éstos cambios pueden verse reflejados en el color, la textura, densidad y porosidad así como en el nivel nutricional del producto (Chou y Chua, 2001). Por lo que se han empleado indicadores de calidad, como el ácido ascórbico (Karhan *et al.*, 2003; Manso *et al.*, 2003), permiten inferir acerca del estado nutricional de los alimentos y, al ser uno de los biocomponentes más sensibles encontrado en éstos, su retención garantiza que otros componentes permanezcan sin alterarse durante el procesamiento. El secado involucra ciertas variables como: humedad, tamaño del producto, temperatura, entre otros; al predecir sus efectos se podrían manipular de tal manera de poder reducir la pérdida nutrimental, obteniéndose un producto con mejores características nutrimentales. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo de papaya (*Carica papaya*).

MATERIALES Y METODOS.

Para este estudio se utilizó papaya del mercado local del puerto Veracruz, México. Se realizaron 12 tratamientos por duplicado. El proceso de secado convectivo se realizó en un secador de charolas APEX modelo SSE17M (figura 13), el cual tiene un intervalo de operación de 40 a 120 °C con una velocidad de aire máxima de 2.5 m.s⁻¹. Se realizaron los experimentales con rebanadas de papaya maradol, cuyos espesores fueron 1.0 y 1.5 cm. Las velocidades de aire empleadas fueron 1.5 y 2.5 m/s. Se emplearon 3 temperaturas de estudio: 50, 60 y 70°C. Los datos obtenidos fueron ajustados a un modelo de Arrhenius dependiente de la temperatura. Los efectos de las variables empleadas (temperatura, humedad, velocidad de aire y espesor de rebanada) fueron estudiadas para analizar el efecto de éstas sobre la degradación del ácido ascórbico. Con los datos obtenidos se representó un modelo para describir la evolución del ácido ascórbico, descrito en términos de una cinética irreversible de primer orden. Donde, la constante de velocidad de reacción (*K*), estuvo en función de la relación entre la concentración de ácido ascórbico experimental a tiempos y temperaturas determinados. La *K* varió de acuerdo con el sistema de temperatura absoluta acorde con la ley de Arrhenius. La expresión cinética se resolvió mediante un sistema de regresión no lineal.

Determinaciones:

La determinación del contenido de humedad se realizó de acuerdo al método de la AOAC No. 972.20 (1995) hasta obtener un peso constante. Por otro lado, la determinación de ácido ascórbico se llevó a cabo por HPLC (High Performance Liquid Resolución).

RESULTADOS Y DISCUSION:

Se realizó un análisis estadístico (ANOVA) para verificar la influencia de las variables que mayor afectan las reacciones de degradación del ácido ascórbico durante el secado. Dicho análisis se realizó tomando como base los resultados experimentales y reportó que no hay efectos significativos de esta variable sobre el contenido de ácido ascórbico. Se probaron dos velocidades de aire (1.5 y 2.5 m/s), a manera de ejemplo se muestra la cinética experimental a 60°C, en rebanadas de papaya de 0.5 cm de espesor (Figura 1), puede observarse esquemáticamente que no existe efecto de la velocidad de aire sobre el contenido de ácido ascórbico durante el proceso.

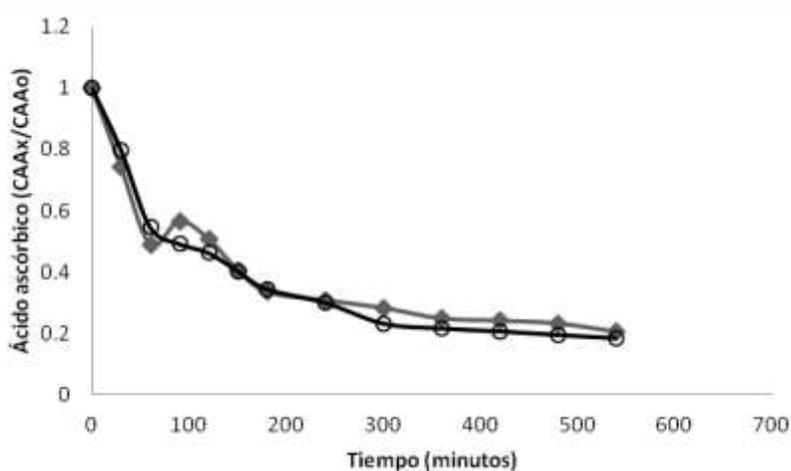


Figura 1. Efecto de la velocidad de aire sobre el contenido de humedad en rebanadas de papaya a 1.0 cm de espesor a temperatura de 60°C y velocidades de aire de 1.5 m/s (-▲-) y 2.5 m/s (-o-)

La velocidad de aire es una variable que se empleó para estudiar el efecto que ésta puede tener sobre la velocidad de degradación, en ambos casos se pudo observar que el comportamiento del ácido ascórbico fue similar, se puede observar que no es constante la velocidad de degradación, esto está relacionado directamente con la velocidad con la que transcurre el secado, y que podría explicarse con que la difusión es el mecanismo predominante el cual gobierna el movimiento de la humedad en la muestra relacionado con la velocidad a la que ocurre el secado, pero no tiene mucha relación con la velocidad de aire y los valores empleados.

Por otro lado, con respecto al efecto del espesor de rebanada sobre el contenido de ácido ascórbico, se reportan resultados similares a los observados en la velocidad del aire de secado. No se observó efecto significativo en el espesor de la rebanada, esto puede deberse a que la diferencia en el área de transferencia de calor estudiado es mínimo que no representa gran variación en cuanto al coeficiente de transmisión de calor, lo que está relacionado directamente con la temperatura y, por ende, con la velocidad a la que se llevan las reacciones químicas. Esto podría representarse esquemáticamente con la Figura 2, que muestra que, con los espesores estudiados, no se observó efecto significativo sobre la velocidad de degradación del ácido ascórbico.

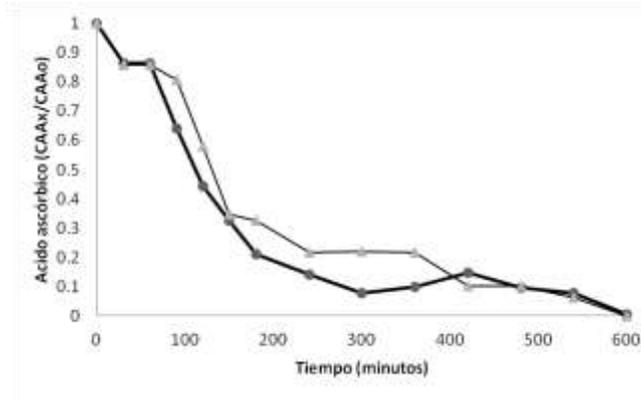


Figura 2. Efecto del espesor sobre el contenido de ácido ascórbico en papaya Maradol a 70 °C a espesores de 0.5 (-▲-) y 1.0 cm (—●—).

Goula y Adamopoulos (2006) observaron que la velocidad de reacción incrementó con la reducción del contenido de humedad. El mecanismo por el cual se explican este fenómeno es porque a medida que el contenido de humedad disminuye, el ácido ascórbico en la muestra se vuelve más concentrado, la velocidad disminuye debido al incremento de la viscosidad de la fase acuosa o debido a la precipitación de los reactantes, afectando la difusión. El efecto predominante que tiene la temperatura sobre la degradación del ácido ascórbico fue reportado por Villota y Karel (1998). En el presente trabajo, se analizó el efecto de ciertas variables, sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos, la temperatura fue la que demostró tener el efecto predominante sobre el mecanismo de degradación durante el secado (Figura 3).

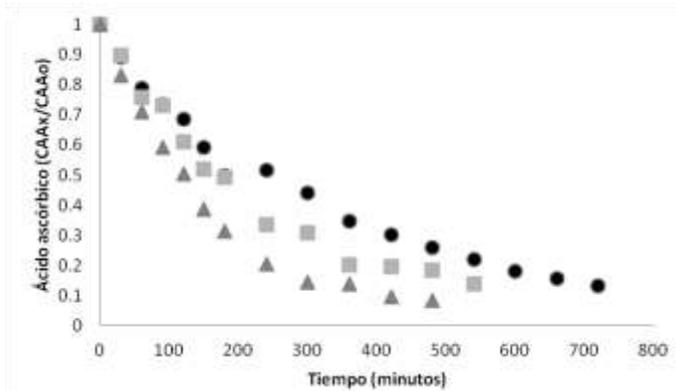


Figura 3. Degradación del ácido ascórbico en rebanadas de papaya Maradol de 1.0 cm de espesor a temperaturas de 40 (●), 50 (■) y 60 (▲) °C.

Reportes de literatura han establecido que la humedad y la temperatura son las principales variables que afectan la degradación del ácido ascórbico durante el almacenamiento (Uddin *et al.*, 2001), procesamientos a altas temperaturas (Vieira *et al.*, 2001), en secado (Frías y Oliveira, 2001) entre otros. A pesar de que la mayoría de los investigadores han establecido a estas dos variables como las que más afectan la degradación durante el proceso, se ha visto que una minoría establece que, durante el secado, es la temperatura la que mayor afecta (Villota y Karel, 1980 y Santos y Silva, 2009). Esto último concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo, que establece que es la temperatura la que tiene mayor influencia sobre el mecanismo de degradación de ácido ascórbico. Para comprender mejor la relación entre humedad y temperatura y la relación que tienen con la degradación del ácido ascórbico, se graficó la relación CAAx/CAAo en función del contenido de humedad en la muestra (Figura 4).

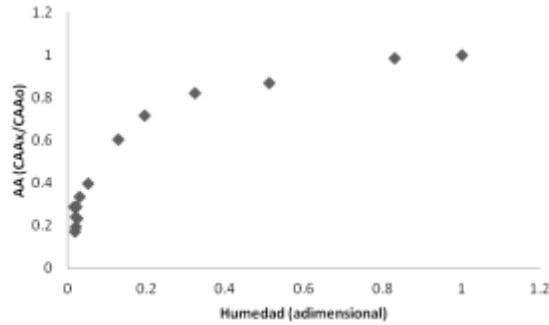


Figura 4.- Contenido de ácido ascórbico y contenido de humedad en rebanadas de papaya de 0.8 cm de espesor, secadas a 50 °C y velocidad de aire de 1.5 m/s.

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos y a partir del análisis estadístico el modelo desarrollado para representar la degradación del ácido ascórbico quedó representado como se muestra en la Tabla 1, donde se muestran los valores de los parámetros del modelo obtenido. Cabe mencionar que el modelo fue evaluado a diferentes humedades y temperaturas, y ajustado mediante una regresión lineal a un modelo tipo Arrhenius con una linealización para una transformación logarítmica. Donde se representa la constante K (min^{-1}), la humedad X (g. gss^{-1}) y la temperatura (K) del producto. Donde los valores de los parámetros fueron:

Tabla 1. Representación matemática del modelo obtenido así como sus respectivos parámetros.

MODELO	PARÁMETROS
$\ln K = \ln K_0 + \beta_1 \ln x + \beta_2 \frac{1}{t} + \beta_{1,2} \frac{X}{T}$	$\beta_0 = 1.815$
	$\beta_1 = 0.255$
	$\beta_2 = 2368$
	$\beta_{1,2} = 191098$

En la Figura 5, se muestra la representación gráfica de una de las condiciones experimentales probadas y la representación respecto del modelo. Se observa que el modelo logró ajustarse adecuadamente a las condiciones evaluadas.

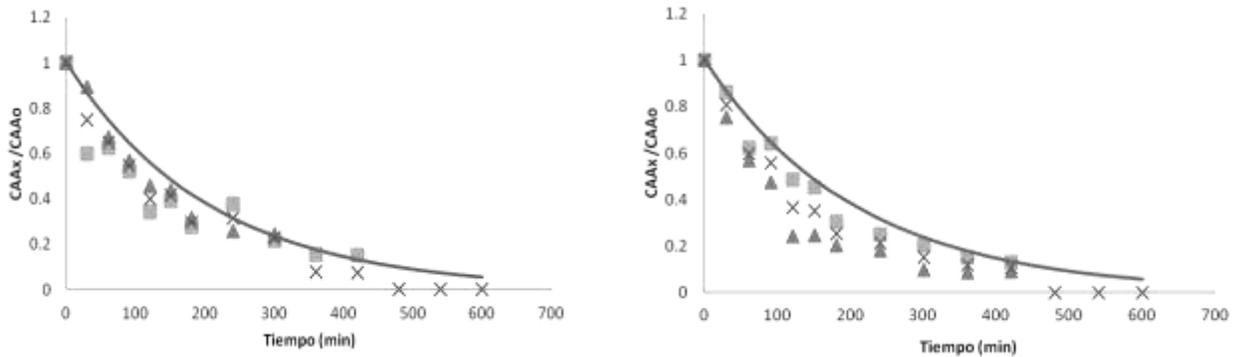


Figura 5.- Degradación del ácido ascórbico experimental y simulado (—) en rebanadas de papaya de 1.0 cm de espesor a 60 °C; a dos velocidades de aire (a) 1.5 m. s^{-1} y b) 2.5 m. s^{-1}).

El ácido ascórbico puede ser fácilmente degradado dependiendo de muchas variables. Se ha reportado que las cinéticas de degradación son afectadas de manera significativa por muchos factores tales como el pH, la temperatura, la presencia de enzimas, oxígeno, catalizadores, entre otros (Uddin *et al.*, 2001; Uddin *et al.*, 2002). Sin embargo, la forma en la que afecta cada uno de estos factores depende de las condiciones a las que sea sometida la molécula (Fennema, 1996). De acuerdo a los estudios realizados, durante el secado el factor que mayormente afecta la degradación es la temperatura, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Santos y Silva (2009).

CONCLUSION:

La degradación del ácido ascórbico puede estar influenciado por diversas variables del proceso, sin embargo, la temperatura es uno de los factores que más la afecta durante el proceso de secado convectivo bajo las condiciones estudiadas.

BIBLIOGRAFIA

- Adetuyi FO, Akinadewo LT, Omosuli SV y Ajala L. 2008. Antinutrient and antioxidant quality of waxed and unwaxed pawpaw *Carica papaya* fruit stored at different temperatures. *African Journal of Biotechnology*. 7(16):2920-2924.
- Almeida CA, Reis PJD, Santos S D, Vieira de O T, Costa O M. 2011. Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Revista. Venezolana de Ciencia. Y Tecnología Alimentaria* 2(1):049-060.
- Bimbenet JJ. 1978. Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires, 4eme Cahier du Génie Industriel Alimentaire, SEPAIC, Paris.
- Chou S K y Chua KJ. 2001. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Food Science Technology* 12: 359-369.
- Cereda MP, Bertollini AC, Silva AP, Oliveira MA y Evangelista RM. 1995. Películas de almidón para la preservación de frutas. En *Anais do Congresso de Polímeros Biodegradáveis. Avances y perspectivas*. Buenos Aires, Argentina.
- FAOSTAT. 2009. Base de Datos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estadísticas actualizadas el 16 de noviembre de 2009. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=567&lang=es#ancor>.
- Fan L, Zhang M y Mujumdar AS 2005. Vacuum Frying of carrot chips. *Drying Technology* 23: 645-656.
- Fennema OR. (1996). *Food Chemistry*, Marcel Dekker. Nueva York
- Goula AM y Adamopoulos GK. 2006. Retention of ascorbic acid during drying of tomato Halves and Tomato pulp. *Drying Technology* 4: 57-64.
- Hawladar MNA, Perera CO y Yeo KL. 2006. Drying of guava and papaya: Impact of different drying methods. *Drying Technol.* 24: 77- 87.
- Manso MC, Oliveira FA, Oliveira JC y Frias JM. 2001. Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 303-312.
- Martins CR, y Farias RM. 2002. Produção de alimentos x desperdício: tipos, causas e como reducir perdas na produção agrícola – Revisão. *Revista da FZVA*. 9(1):20-32.
- Montero PI. 2005. Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos. Tesis Doctoral en Biología y producción de vegetales. Universidad de Extremadura. Badajoz, España.
- Mujumdar AS. 2007. *Handbook of industrial drying*, Marcel Dekker, Nueva York.
- Negi PS y Roy SK. 2001. The effect of blanching on quality attributes of dehydrated carrots during long-term storage. *Food Res. Technol.* 212: 445-448.
- Fan L, Zhang M y Mujumdar AS. 2005. Vacuum Frying of carrot chips. *Dry. Technol.* 23: 645-656
- Karhan M, Aks M, Tetik N y Turhan I. 2003. Kinetic modeling of anaerobic thermal degradation of ascorbic acid in Rose Hip (*Rosa canina* L) pulp. *J. Food Quality* 27: 311-319.

- Kroquida MK, Karatanos VT, Maroulis ZB y Marinos-Kouris D. 2003. Drying kinetics of some vegetables. *J. Food Eng.* 59: 391-403.
- Paull RE. 1993. Pineapple and papaya. In *Biochemistry of fruit ripening*. (pp. 291- 323). London: Chapman & Hall.
- Paul R, Nishijina W, Reyes M, Cavaletto C. 1997. Postharvest handling and losses during marketing of papaya. *Postharvest Biology and Technology* 11: 165-179
- Reis RC, Ramos AM, Regazzi AJ, Minim VPR y Stringueta PC. 2006. Almacenamiento de mango secado: análisis fisicoquímico, microbiológico, color y sensorial. *Ciencia y Tecnología alimentaria* 5(3): 214-225.
- Rivas VP, Mora AG, Téliz OD, Mora AA. 2003. Influencia de variedades y densidades de plantación de papayo (Carica papaya L.) sobre las epidemias de mancha anular. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21(2):109-116.
- Sablani SS. 2006. Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality. *Dry. Technol* 24: 123-135.
- Storey WB. 1976. Papaya. In: N.W. Simmonds (Ed.), *Evolution of Crop Plants*, pp. 21–24. Longman, San Francisco. do con actividad de agua desfavorable a microorganismos.
- Uddin MS, Hawlader MN, Ding L. y Mujumdar AS. 2002. Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. *J. Food Eng.* 51: 21-26.
- Vázquez GE, Román AE y Ariza FR. 2008. Fenología y unidades calor de genotipos de papayo en el sur de Taumalipas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(Nº Especial 3):4548.C.
- Vera JC, Rivast CI, Velazquez FV, Zhang RH, Concha II, y Golde DV. 1995. Resolution of the facilitated transport of dehidroascorbic acid from its intracellular accumulation as ascorbic acid. *Journal Biology chemistry*. 270(40): 23706-23712.
- Vieira MC, Teixeira, AA, y Silva CLM. 2000 Mathematical modeling of the thermal degradation of total vitamin C in cuapagú (*Theobroma grandiflorum*) Nectar. *J. Food Eng.* 43: 1-7
- Villota R. y Karel M. 1980. Prediction of ascorbic acid retention during drying: II Simulation of retention in a model system. *J. Food Procces Preserv* 4(3): 141-159.
- Zhou L, Paull RE y Chen NJ. 2004. Papaya. In *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks agricultural*. Agriculture Handbook. Number 66. United States Department of Agriculture Agricultural Research Service. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/101papaya.pdf>

AGRADECIMIENTOS:

El presente trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México.