



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**Cinética de deterioro y vida de anaquel de tres frutos tropicales  
mínimamente procesados**

**TESIS**

**Que para obtener el Grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

**PRESENTA:**

**IIA. Gladys González González**

**Directora de tesis:**

**Dra. Rosa Ma. Salinas Hernández**

**Asesores:**

**Mag. Maria Élica Pirovani**

**Dra. Edith Miranda Cruz**

**Dr. Fidel Ulín Montejo**

**Villahermosa, Tabasco.**

**Diciembre de 2015**



**ASUNTO:** El que se indica.  
**OFICIO:** DACA-326

Villahermosa, Tabasco, a 3 de diciembre de 2015

**C. GLADYS GONZÁLEZ GONZÁLEZ  
EGRESADA DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS  
PRESENTE**

Por este conducto y de acuerdo a su solicitud de autorización de impresión de Tesis, informo a ud. que sobre la base del Artículo 26 del reglamento de Posgrado de esta Universidad, esta Dirección a mi cargo le **autoriza la impresión de su trabajo recepcional bajo la modalidad de Tesis titulada "Cinética de deterioro y vida de anaquel de tres frutos tropicales minimamente procesados"**

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un saludo cordial.

**ATENTAMENTE**

**DR. ROBERTO FLORES BELLO**

**DIRECTOR**

U.J.A.T.



DIVISIÓN ACADÉMICA DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS  
DIRECCIÓN

CCP.-Alumno  
Ccp.-archivo

Miembro CUMEX desde 2008  
**Consortio de  
Universidades  
Mexicanas**  
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

Km 25 de la carr. fed. 195, tramo Villahermosa-Teapa  
Ra. La Huasteca, 2ª sección, 86298, Centro, Tabasco, México  
Tel. +52 (993) 358 1500, extensión 6607  
Correo electrónico: [daca.cica@yahoo.com](mailto:daca.cica@yahoo.com)

[www.ujat.mx](http://www.ujat.mx)  
[www.facebook.com/ujat.mx](https://www.facebook.com/ujat.mx) | [www.twitter.com/ujat](https://www.twitter.com/ujat) | [www.youtube.com/UJATmx](https://www.youtube.com/UJATmx)

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

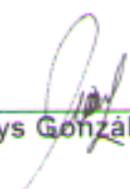
La que suscribe, autoriza por medio del presente escrito, a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice, tanto física como digitalmente, la tesis de grado titulada **Cinética de deterioro y vida de anaquel de tres frutos tropicales mínimamente procesados**, de la cual soy autor y titular de los derechos de autor.

La finalidad de uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de la tesis antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro, autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la red abierta de bibliotecas digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 03 de diciembre del 2015

Atentamente

  
IIA. Gladys González González

## INDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
<b>RESUMEN GENERAL</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	3
2.1. Vegetales mínimamente procesados (VMP), importancia y principales frutos.	3
2.2. Frutas tropicales con potencial para integrarse al mercado de VMP .....	3
2.3. Procesado mínimo y vida de útil .....	6
2.4. Cinética del deterioro de alimentos.....	8
2.4.1. Modelación del efecto de la temperatura.....	10
2.5. Estudios previos sobre la modelación del deterioro de VMP .....	10
<b>III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	12
3.1. Objetivo general.....	12
3.2. Objetivos específicos .....	12
3.3. Hipótesis.....	12
<b>IV. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	13
<b>CAPÍTULO I.</b> Kinetic parameters of changes in sensory characteristics of minimally processed rambutan.....	18
<b>CAPÍTULO II.</b> Modelación cinética de cambios sensoriales y vida de anaquel de carambola mínimamente procesada .....	33
<b>CAPÍTULO III.</b> Estimación de la vida útil de guayaba fresca cortada en función de cambios sensoriales, fisicoquímicos y aceptabilidad por consumidores.....	50
<b>V. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	71
<b>VI. ANEXOS</b> .....	72
6.1. Anexo 1. Portada de artículo “Kinetic parameters of changes in sensory characteristics of minimally processed rambután. Publicado en International Journal of Fruit Science.....	72

6.2. Anexo 2. Carta de recepción de artículo “Cinética de cambios sensoriales y vida de anaquel de carambola mínimamente procesada”. Enviado a Revista Fitotecnia Mexicana. .... 73

6.3. Anexo 3. Notificación de recepción de artículo “Estimación de la vida útil de guayaba fresca cortada en función de cambios sensoriales, fisicoquímicos y aceptabilidad por consumidores”. Enviado a Revista Chapingo Serie Horticultura.....74

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>Kinetic parameters of changes in sensory characteristics of minimally processed rambutan</b>	<b>Página</b>
Table 1.	Descriptors and anchored terms used to evaluate the changes of minimally processed rambutan. .....	22
Table 2.	Minimally processed rambutan fruits on the processing day.....	24
Table 3.	Coefficients of determination ( $R^2$ ) for zero and first order models for sensory attribute of minimally processed rambutan.....	27
Table 4.	Rate constant ( $k_0$ ) and activation energies of sensory attribute changes of minimally processed rambutan.....	29
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>Modelación cinética de cambios sensoriales y vida de anaquel de carambola mínimamente procesada</b>	
Cuadro 1.	Orden de reacción ( $n$ ) y constante de velocidad ( $k$ ) de mejor ajuste para los cambios en características sensoriales de carambola mínimamente procesada.....	43
Cuadro 2.	Energías de activación ( $E_A$ ) para los cambios en las características sensoriales de carambola mínimamente procesada.....	44
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>Estimación de la vida útil de guayaba fresca cortada en función de cambios sensoriales, fisicoquímicos y aceptabilidad por consumidores</b>	
Cuadro 1.	Orden cinético, constante aparente de reacción del mejor modelo ajustado y energía de activación de cambios fisicoquímicos en guayaba mínimamente procesada.....	62
Cuadro 2.	Orden cinético, constante aparente de reacción del mejor modelo ajustado y energía de activación de los cambios sensoriales en guayaba mínimamente procesada.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>Kinetic parameters of changes in sensory characteristics of minimally processed rambutan</b>	<b>Página</b>
Figure 1.	Experimental and predicted values of aroma, appearance, brightness, freshness, flavor and sourness of minimally processed rambután throughout storage at 4.6 , 8.6 and 12.1 °C.....	25
Figure 2.	Experimental and predicted values of cohesiveness, juiciness, color, sweetness, off-odors and off-flavor of minimally processed rambután throughout storage at 4.6, 8.6 and 12.1 °C.....	26
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>Modelación cinética de cambios sensoriales y vida de anaquel de carambola mínimamente procesada</b>	
Figura 1.	Valores experimentales y predichos de olor característico, olor fermentado, olor extraño, apariencia, frescura y brillo de carambola mínimamente procesada, almacenada a 4.9, 7.8 y 12.8 °C.....	41
Figura 2.	Valores experimentales y predichos de color característico, oscurecimiento, sabor característico, sabor extraño, consistencia, jugosidad y textura fibrosa de carambola mínimamente procesada, almacenada a 4.9, 7.8 y 12.8 °C.....	42
Figura 3.	Vida de anaquel de carambola mínimamente procesada, estimada a partir de la constante aparente de reacción del modelo de mejor ajuste para los cambios en atributos sensoriales durante el almacenamiento a las tres temperaturas ensayadas....	45
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>Estimación de la vida útil de guayaba fresca cortada en función de cambios sensoriales, fisicoquímicos y aceptabilidad por consumidores</b>	
Figura 1.	Valores experimentales y predichos de atributos sensoriales de guayaba mínimamente procesada, almacenada en refrigeración.....	60
Figura 2.	Valores experimentales y predichos de parámetros fisicoquímicos de guayaba mínimamente procesada, almacenada en refrigeración.....	61

Figura 3.	Vida útil de guayaba mínimamente procesada estimada en función de la pérdida de la calidad fisicoquímica.....	64
Figura 4.	Vida útil de guayaba mínimamente procesada con base en la intensidad de sus atributos sensoriales.....	65
Figura 5.	Aceptabilidad de los consumidores para guayaba fresca cortada almacenada a 4.8 °C por 14 d.....	65
Figura 6.	Aceptabilidad de los consumidores para guayaba fresca cortada almacenada a 7.8 °C por 8 d.....	66
Figura 7.	Aceptabilidad de los consumidores para guayaba fresca cortada almacenada a 11.8 °C por 2 d.....	66

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## DEDICATORIA

A mi madre y hermanos:

Por creer en mí en todo momento y motivarme siempre a buscar el éxito y el crecimiento como persona y profesionista.

Por enseñarme a que uno se forja su propio destino, a base de esfuerzo y dedicación.

Por ser el mejor ejemplo de superación y mostrarme el camino para obtener mis propios logros que, a la vez, también son de ustedes.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar la beca N° 296511, para estudios de posgrado.

A la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por la oportunidad para realizar la Maestría en Ciencias Agroalimentarias.

A la Dra. Rosa Ma. Salinas Hernández por su dirección e invaluable y fundamental apoyo en la realización de este proyecto de investigación.

A la Mag. María Élica Pirovani, Dra. Edith Miranda Cruz y Dr. Fidel Ulín Montejo por la asesoría prestada durante el desarrollo de este trabajo.

A los integrantes del Comité Revisor: Dr. Eusebio Martínez Moreno, Dr. Pedro García Alamilla, Dr. Aldenamar Cruz Hernández y Dr. Maximiano Estrada Botello, por su labor y buen desempeño durante el proceso de aprobación del documento de tesis.

A los integrantes del Panel Sensorial de la División Académica de Ciencias Agropecuarias-UJAT, por su participación como parte medular del trabajo experimental.

A todos y cada uno de los profesores, amigos y compañeros que, de una u otra manera, brindaron su apoyo durante la realización de la maestría.

De manera general, gracias por su participación durante este proceso de formación y aprendizaje.

## RESUMEN GENERAL

Los vegetales mínimamente procesados (VMP) constituyen el segmento de mayor crecimiento dentro de la industria alimentaria. Actualmente existe interés en la incorporación de algunos frutos tropicales como rambután (*Nephelium lappaceum* L.), carambola (*Averrhoa carambola* L.) y guayaba (*Psidium guajava* L.) a este sector. También se ha reportado que se pueden determinar los cambios y la vida de anaquel de un producto mediante modelos cinéticos de deterioro. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la cinética de deterioro y la vida de anaquel de estos tres frutos tropicales mínimamente procesados. Con este fin, los frutos fueron procesados y almacenados a tres condiciones de tiempo y temperatura (rambután: 14, 8 y 2 d a 4.6, 8.6 y 12.1 °C, respectivamente; carambola: 14, 8 y 3 d a 4.9, 7.8 y 12.8 °C; guayaba: 14, 8 y 2 d a 4.8, 7.8 y 11.8 °C). Al término del almacenamiento, se evaluaron los cambios fisicoquímicos y sensoriales, y la aceptabilidad de las muestras. La cinética de los cambios, se determinó mediante el ajuste de modelos derivados de la ecuación general de deterioro, con base en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) obtenido mediante análisis de regresión simple. La energía de activación ( $E_A$ ) de cada cambio, se determinó a partir de las constantes cinéticas del modelo mejor ajustado y la ecuación de Arrhenius. La vida de anaquel se estimó en función de los cambios limitantes y la aceptabilidad de los consumidores. De manera general, se observó que, al incrementarse el tiempo y la temperatura de almacenamiento, disminuyó el valor de las variables fisicoquímicas para los tres frutos, con excepción del aumento de acidez en rambután y el contenido de sólidos solubles y pH en carambola. Respecto a los cambios sensoriales, se observó el desarrollo de olores y sabores desagradables, así como el oscurecimiento, además de la disminución de consistencia, textura, frescura, apariencia y otras características deseables. Finalmente, la aceptabilidad también disminuyó en función del incremento del tiempo y temperatura de almacenamiento. Las cinéticas de los cambios observados en los tres frutos, a las temperaturas ensayadas, correspondieron a cero y primer orden ( $R^2 = 0.71$  a  $0.99$ ), lo que es común en reacciones de deterioro de alimentos. Las respectivas  $E_A$  oscilaron entre 134.2 y 297.4  $\text{KJ.mol}^{-1}$ , indicando una fuerte dependencia de las constantes de velocidad con la temperatura. La vida de anaquel estuvo limitada principalmente por el desarrollo de olores desagradables para los frutos de rambután, el oscurecimiento para los frutos de carambola y la pérdida de firmeza y textura para los frutos de guayaba. El tiempo estimado de vida de anaquel para rambután a 4.6, 8.6 y 12.1 °C fue de 16.0, 4.9 y 1.8 d, respectivamente, para carambola a 4.9, 7.8 y 12.8 °C de 11, 6 y 2 d, y para guayaba a 4.8, 7.8 y 11.8 °C de 13.2, 4.8 y 1.3 d, respectivamente. Los modelos cinéticos evaluados pueden ser útiles para estimar el deterioro de estos productos en condiciones variables de temperatura y así establecer estrategias adecuadas de manejo durante la cadena de distribución.

**Palabras clave:** almacenamiento refrigerado; cinética de deterioro; frutos cortados; vida útil.

## ABSTRACT

Minimally processed vegetables (MPV) are the fastest growing segment within the food industry. Nowadays there is interest in of some tropical fruits, as rambután (*Nephelium lappaceum* L.), star fruit (*Averrhoa carambola* L.) y guava (*Psidium guajava* L.), to be incorporated in the fresh-cut market. On the other hand, it has been reported the use of deterioration kinetics models to estimate the shelf-life of this kind of products. Therefore, the aim of this study was to determine the kinetics of deterioration and estimate the shelf-life of the three tropical fruits mentioned, when minimally processed. The fruits were processed and stored in three different conditions of time and temperature (rambután: 14, 8 and 2 d to 4.6, 8.6 and 12.1 °C, respectively; carambola: 14, 8 and 3 d to 4.9, 7.8 and 12.8 °C; guava: 14, 8 and 2 d to 4.8, 7.8 and 11.8 °C). At the end of the storage, physicochemical, sensory and changes in acceptability of the samples were evaluated. The kinetics of increase or decrease of physicochemical and sensory variables was determined by fitting models derived from the general equation of deterioration, based on the coefficient of determination ( $R^2$ ) obtained by simple regression analysis. The activation energy ( $E_A$ ) corresponding to each variable, was estimated from the kinetic constants of the best-fitting model and the Arrhenius equation. Finally, the shelf-life was estimated on the base of the critical variables, for each product, and the consumers acceptability. In general, the values of the physicochemical variables decreased on the three fruits when the time of storage and temperatura increased, a different behavior was observed in sourness of rambután and soluble solids and pH in carambola, which values increased when time of storage and temperatura increased. Regarding sensory changes, it was observed an increase in off-odors and off-flavors, as well as in browning while cohesiveness, texture, freshness, appearance, and other desirable characteristics decreased. Lower scores in acceptability were also observed when the time of storage and temperature increased. The kinetics of change in the physicochemical and sensory variables evaluated on the three fruits, was of zero and first order ( $R^2 = 0.71$  to 0.99), this kinetic is common in reactions of food deterioration. The estimated  $E_A$  ranged between 134.2 and 297.4  $\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ , which indicates a strong dependence of the rate constants with the temperature. The shelf-life of the fruits was limited by off-odors, browning and loss of firmness and texture in minimally procesed rambután, carambola and guava, respectively. The estimated shelf-life was for rambután at 4.6, 8.6 and 12.1 °C was 16.0, 4.9 and 1.8 d, respectively, for star fruit it was 11, 6 and 2 d, at 4.9, 7.8 and 12.8 °C, respectively, and for guava, at 4.8, 7.8 and 11.8 °C, it was 13.2, 4.8 and 1.3 d, respectively. It was obtained that the fitted kinetic models could be useful to estimate the deterioration of the three different fruits, under different temperature conditions, this information would be used to establish appropriate management strategies for the distribution chain.

**Key words:** cold storage; deterioration kinetics; fresh-cut; shelf-life.

## I. INTRODUCCIÓN

Los vegetales mínimamente procesados (VMP) constituyen un sector de rápido crecimiento dentro de la industria alimentaria desde los años 80 y 90, satisfaciendo la demanda de productos de calidad, amplia disponibilidad, fácil preparación y alto valor nutritivo (Montero-Calderón *et al.*, 2009). Algunas frutas de importancia, dentro del mercado de VMP, son piña, melón, sandía, manzana, pera y uva, entre otras (Robles-Sánchez *et al.*, 2007). Además, existen algunas frutas tropicales con potencial para integrarse a este mercado, debido a su apariencia, sabor, textura y calidad nutricional (Márquez y Pretell, 2013), tales como rambután, carambola y guayaba (James y Ngarmsak, 2010).

Estos productos se obtienen mediante operaciones como lavado, pelado, cortado, reducción de tamaño, entre otras (Montero-Calderón *et al.*, 2009). Posteriormente, son sanitizados, envasados y almacenados a temperaturas de refrigeración, permitiendo conservar sus atributos similares a los del fruto fresco recién cortado (Robles-Sánchez *et al.*, 2007). Sin embargo, la vida útil o de anaquel de estos productos es relativamente corta, debido a que el proceso metabólico de las frutas y hortalizas continúa después de la cosecha (Rangel-Marrón y López-Malo, 2012). Aunado a esto, la remoción de la protección natural de los frutos, durante el procesado, provoca cambios como el ablandamiento de los tejidos, pérdida de agua y aroma, alteraciones en el color y generación de olores y sabores desagradables, (Alegoría *et al.*, 2012). De igual forma, la temperatura afecta fuertemente la tasa de respiración de los frutos, acelerando sus reacciones fisiológicas, además de ser uno de los factores más importantes que influye en la proliferación de microorganismos patógenos (Francis *et al.*, 2012).

En este sentido, es necesario contar con herramientas que permitan monitorear los cambios que conllevan al deterioro en la calidad y disminución en la vida de anaquel de los frutos, en función de la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Una de estas herramientas es la predicción del deterioro y vida de anaquel mediante modelos derivados de la ecuación general de deterioro (Salinas-Hernández *et al.*, 2009), lo que podría permitir la reducción de los riesgos sanitarios

y pérdidas en la distribución, así como analizar y proponer métodos de conservación adecuados para cada producto (Amodio *et al.*, 2013).

Por esta razón, en el presente trabajo se planteó el aprovechamiento de frutos de rambután, carambola y guayaba mínimamente procesados y se aplicó un enfoque cinético para modelar los cambios que afectan la calidad de los mismos durante el almacenamiento y así determinar el o los atributos limitantes de la vida de anaquel. Esto con la finalidad de contar con información objetiva que permita, en un momento dado, ofertar estos frutos en el mercado de VMP con la seguridad de que cumplan con las expectativas del consumidor. En este sentido, el objetivo general del trabajo fue determinar la cinética de deterioro y vida de anaquel de estos tres frutos tropicales mínimamente procesados.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Vegetales mínimamente procesados (VMP), importancia y principales frutos.

Los VMP son frutas y hortalizas lavadas, peladas, deshuesadas y/o troceadas (Robles-Sánchez *et al.*, 2007), comúnmente tratadas con agentes desinfectantes, estabilizadores de color y retenedores de firmeza, envasadas en bolsas o bandejas creando una atmósfera modificada y almacenadas en refrigeración (Márquez y Pretell, 2013). Estos productos constituyen un sector de rápido crecimiento en la industria de los alimentos, por sus atributos de calidad, amplia disponibilidad, fácil preparación y alto valor nutritivo (Montero-Calderón *et al.*, 2009).

Dentro del mercado de VMP predominan a nivel mundial, las hortalizas frescas cortadas principalmente las lechugas, mezclas de lechugas, espinacas y acelgas (Montero-Calderón *et al.*, 2009), seguidas por verduras como zanahorias y maíz baby, brócoli, coliflor, apio, espárragos y otras (James y Ngarmsak, 2010). Además, se encuentra una gran variedad de frutas, entre las que destacan piña, melón, sandía, manzana, uva y pera (Robles-Sánchez *et al.*, 2007).

### 2.2. Frutas tropicales con potencial para integrarse al mercado de VMP

El creciente interés de los consumidores en mercados internacionales, por sabores nuevos o exóticos, ha influido en la alta comercialización de los VMP y la inclusión de frutos de origen tropical a este sector (James y Ngarmsak, 2010). Los frutos tropicales tienen un alto potencial para integrarse al mercado de VMP, debido a su apariencia, sabor, textura y calidad nutricional (Márquez y Pretell, 2013). De acuerdo con James y Ngarmsak (2010), dentro de los frutos tropicales potenciales se encuentra el rambután, la carambola y la guayaba, que se describen a continuación:

a) El rambután (*Nephelium lappaceum* L.) es un fruto originario de Malasia e Indonesia y se cultiva en México a partir de los años 50 y 60 (Caballero-Pérez *et al.*, 2011). La producción de rambután en México, en el 2014, fue de 1,990.26 ton, con un valor aproximado de 24.2 millones de pesos, estimándose una superficie

cultivada de 785 ha, donde los principales Estados productores son Chiapas, Oaxaca y Tabasco (SIAP, 2014).

Los frutos son globosos u ovoides y la epidermis es de color rojo o amarillo cubierta de tricomas largos, poseen un arilo comestible blanco o translúcido, dulce, jugoso con alto contenido de vitamina C (Hernández-Arenas, *et al.*, 2012). La única semilla es de color marrón-brillante, de 2 a 3 cm de largo, suave y crujiente, que puede ser consumible, aunque tal uso no se acostumbra (James y Ngarmsak, 2010). Se compone principalmente de agua, además de carbohidratos, proteínas y vitaminas, entre otros componentes (Pohlan *et al.*, 2008).

Las variedades de rambután que se comercializan en Tabasco, provienen principalmente del estado de Chiapas, donde predominan clones regionales derivados de los clones Seechoompo y Exmund (Ávila *et al.*, 2006).

Este fruto se consume principalmente en fresco, aún que tiene una corta vida útil, porque los tricomas y el pericarpio se deshidratan y oxidan rápidamente, dando una apariencia indeseable que limita la comercialización del fruto entero (García-Gurría *et al.*, 2013). En los principales países productores, como Malasia y Tailandia, los frutos de rambután se procesan para obtener jugos, mermeladas y jaleas, o se rellenan de piña y se hacen conservan en almíbar (Sirisompong *et al.*, 2011).

b) La carambola (*Averrhoa carambola* L.) es una fruta originaria de Asia y su cultivo se ha extendido a Australia, Las Antillas, Estados Unidos, México y otros países (Rathod *et al.*, 2011). En México, los principales Estados productores son Michoacán, Morelos, Jalisco, Colima, Nayarit y Tabasco, la superficie sembrada es de 81 ha con una producción de 634.73 ton, lo que representa un valor aproximado de 3.9 millones de pesos (SIAP, 2014).

El fruto es ovalado-alargado, con cinco aristas que al cortar de forma transversal simulan una estrella de cinco picos, la epidermis es fina, lustrosa y comestible de color dorado o amarillo-anaranjado cuando está madura, la pulpa es crujiente de textura suave y vidriosa, con pocas o ninguna semilla, jugosa y con un fino sabor agridulce (Andrade-Cuvi *et al.*, 2010).

La carambola es rica en azúcares reductores, ácido ascórbico y minerales como K, Ca, Mg y P, y también contiene aminoácidos como serina, ácido glutámico y alanina (Rathod *et al.*, 2011). El fruto representa una importante fuente de antioxidantes naturales (carotenoides y compuestos fenólicos) y fibra dietética insoluble con potencial efecto hipoglucémico (Ruíz-López *et al.*, 2011). Sin embargo, el alto contenido de humedad hace que el fruto sea muy susceptible al deterioro, que puede proyectarse en fuertes pérdida postcosecha, por lo que se requiere de procesos simples y de bajo costo para su preservación (Dash *et al.*, 2013).

Respecto a las variedades, se conocen dos tipos, carambola dulce y carambola ácida, pero la variedad dulce es más apreciada porque presenta mejores atributos sensoriales en término de sabor y textura (Gol *et al.*, 2015). El fruto se consume mayormente fresco o el jugo en la elaboración de refresco, aunque también se utiliza para la preparación de ensaladas de frutas, jaleas, conservas, postres e incluso se cocina junto con mariscos o carne (Bhat *et al.*, 2011). Además, se le adjudican propiedades medicinales, por lo que se usa tradicionalmente en el tratamiento contra las úlceras, dolor de muela, diarrea, indigestión, hemorroides y fiebre (Dash *et al.*, 2013).

c) La guayaba (*Psidium guajava* L.) es uno de los frutos tropicales más conocidos, se cultiva comercialmente en muchos países tropicales y subtropicales del mundo, donde India es el mayor productor, seguido por Pakistán, México y Brasil (Parra-Coronado, 2014). En México, los principales Estados productores son Michoacán, Aguascalientes y Zacatecas, la producción nacional oscila entre 302, 720 ton (de las cuales Tabasco aporta 193.01 ton), con un valor aproximado de 1, 292 millones de pesos, en una superficie cultivada de 20, 899 ha (SIAP, 2014). La principal variedad que se cultiva en México es del tipo Media China (Pérez-Barraza *et al.*, 2015).

Este fruto ha adquirido mayor importancia debido a su textura carnosa, agradable sabor y aroma, alto valor nutritivo y cualidades medicinales (Antala *et al.*, 2015). Tiene una corteza fina de color verde pálido a amarillo en la madurez, en algunas especies puede ser de color rosa a rojo, su pulpa es blanca cremosa o

naranja-salmón con muchas pequeñas semillas duras y un aroma característico fuerte (James y Ngarmsak, 2010). Posee un alto contenido de humedad (82%) y vitamina C, además de vitamina A, fósforo, calcio, hierro y fibra dietética (Ramírez y Pacheco, 2011).

La forma de consumo de la guayaba es principalmente en fresco, pero la vida útil es relativamente corta debido a su alta tasa de respiración y de producción de etileno, lo que limitan el tiempo disponible para el transporte y comercialización al mercado exterior y enfatiza la necesidad de implementar técnicas para el mejor aprovechamiento del fruto y reducción pérdidas postcosecha (Antala *et al.*, 2015).

También se utiliza ampliamente este fruto en la elaboración de productos como néctar, jugo, conservas, mermelada, fruta en almíbar, alimento para niños, refrescos, lácteos y panadería (Parra-Coronado, 2014). Además, tiene potencial para la elaboración de pectinas y aceites con sus semillas, que deriva de sus aptitudes para pulpas, puré, mermeladas, jaleas y dulce (Yam *et al.*, 2010).

### **2.3. Procesado mínimo y vida de útil**

La vida útil de un alimento se define por el tiempo en el que éste se conserva apto para su consumo, desde el punto de vista sanitario, sensorial, funcional y nutricional (Hough y Wittig, 2005). La determinación de la vida de anaquel en los diferentes tipos de productos alimenticios presenta ciertas complicaciones, debido a que esta depende de diversos factores que intervienen en el deterioro, como la calidad de las materias primas, humedad, temperatura, proceso térmico, entre otros (García *et al.*, 2011). Una vez alterada la calidad y/o seguridad del producto, al grado de no ser aceptado por el consumidor o no ser apto para el consumo, concluye su vida útil o vida de anaquel (Salinas-Hernández *et al.*, 2007).

Las operaciones del procesado mínimo de vegetales, como el pelado y cortado, inducen importantes alteraciones fisiológicas, iniciando procesos deteriorantes como el pardeamiento, ablandamiento de los tejidos, pérdida de agua y desarrollo de olores y sabores desagradables (Alegría *et al.*, 2012). El incremento en la velocidad de los cambios bioquímicos y fisiológicos, así como la salida del contenido celular acelera los diferentes tipos de deterioro, que se reflejan en

diversos cambios, entre los que figuran los fisicoquímicos y sensoriales, que pueden disminuir la vida de anaquel de los VMP (Salinas-Hernández *et al.*, 2007).

Dentro de los cambios fisicoquímicos, se encuentra la pérdida de firmeza, por la acción de enzimas proteolíticas y pectolíticas sobre la pared celular (Martín *et al.*, 2009), y el oscurecimiento superficial, por la oxidación de los compuestos fenólicos, que afecta la calidad visual (Francis *et al.*, 2012). El proceso de pelado y corte, afecta inmediatamente la calidad visual del producto, posteriormente permite que las enzimas y los sustratos entren en contacto, principalmente en la superficie del producto, acelerando el metabolismo, lo que se traduce en serios trastornos del tejido (Hodges y Toivonen, 2008). Por otro lado, el contenido de sólidos solubles totales (SST) también presenta cambios, disminuyendo o aumentando en el tejido vegetal desde el corte, almacenamiento y consumo, debido a reacciones enzimáticas que son favorecidas por el daño físico y que son responsables del cambio de sabor impactando en la aceptabilidad del producto por el consumidor (Rangel-Marrón y López-Malo, 2012).

En lo que respecta a los cambios sensoriales, el color es uno de los principales atributos que determina la aceptabilidad y, por tanto, la compra de los de VMP, por lo que se requiere evitar la alteración de éste en el producto (Rico *et al.*, 2007). Además, los sabores y aromas extraños intervienen en la decisión de adquirirlo nuevamente, dicha alteración puede surgir cuando el producto fue envasado en una atmósfera inadecuada o la adición de sustancia conservantes (Artés *et al.*, 2009). Otro atributo de importancia es la textura, que se encuentra controlada por la tensión del tejido, aw y por diferentes tipos de enzimas (pectinas, celulasas, xilanasas, arabinosas y galactosidasas) que tienen un efecto leve cuando el tejido está intacto y mayor cuando existe un daño mecánico (Mercado-Silva y Aquino-Bolaños, 2005). Otras alteraciones son la decoloración superficial, ahuecamiento, apariencia translúcida, síntomas característicos de daño por frío (como un ablandamiento excesivo y pérdida de integridad del tejido vegetal), así como pérdida de sabor, aparición de olores extraños y ablandamiento (Artés *et al.*, 2009).

## 2.4. Cinética del deterioro de alimentos

La cinética de deterioro de un producto está dada por la velocidad de la pérdida de las características deseables, o aparición de cambios indeseables, la constante de velocidad ( $r$ ) puede ser expresada mediante la ecuación siguiente:

$$r = \pm [A]/dt = k_f [A]^\alpha \quad (1)$$

Donde: A = componente o característica del alimento;  $\alpha$  = orden aparente o pseudo orden de la reacción para el componente A;  $k_f$  = constante aparente de reacción;  $\pm$  = aumento de una característica indeseable (+) y pérdida de una característica deseable (-).

Partiendo de la ecuación (1) se pueden obtener ecuaciones que permitan expresar la pérdida o disminución de una característica deseable y el aumento de una característica indeseable (A y B respectivamente) con sus constantes cinéticas de cambio en el tiempo:

$$r_A = - \frac{d[A]}{dt} = k A^m \quad (2)$$

$$r_B = \pm \frac{d[B]}{dt} = k' B^{m'} \quad (3)$$

Donde  $k$  y  $k'$  = constantes aparentes de reacción;  $m$  y  $m'$  = pseudo orden de reacción; A = Característica deseable y B = característica indeseable.

Con base en la ecuación (1), el cambio en el tiempo de una característica de calidad puede expresarse como sigue:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = k Q^n \quad (4)$$

Donde: Q = característica de calidad;  $n$  = orden aparente o pseudo orden de la reacción para la característica Q;  $k$  = constante aparente de reacción.

Al aplicar el método integral a la ecuación (4), se obtienen las ecuaciones correspondientes a estas cinéticas de reacción de cero y primer orden. Comúnmente las reacciones que han sido estudiadas en cuanto al deterioro de alimentos, siguen cinéticas de estos ordenes (Amodio *et al.*, 2013).

Si en la ecuación (4)  $n=0$ , la reacción es de orden cero y se expresa de la siguiente forma:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = k \quad (5)$$

Al resolver la ecuación (5) se obtiene la siguiente expresión correspondiente a la cinética de orden cero:

$$Q=Q_0-kt \quad (6)$$

Donde  $Q_0$  = valor inicial del atributo de calidad;  $Q$  = valor del atributo en el tiempo  $t$ ;  $k$  = constante aparente de reacción;  $t$  = tiempo.

Cuando  $n = 1$  la reacción es de primer orden y se tiene entonces la ecuación siguiente:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = kQ \quad (6)$$

Y al integrar la ecuación (8) se obtiene la que corresponde a la cinética de primer orden:

$$\ln \frac{Q}{Q_0} = -kt \quad (7)$$

Donde  $Q_0$  = valor inicial del atributo de calidad;  $Q$  = valor del atributo en el tiempo  $t$ ;  $k$  = constante aparente de reacción;  $t$  = tiempo.

A partir de las ecuaciones (6) y (8), de acuerdo con la cinética de cambio de las características de interés, es posible calcular el tiempo correspondiente a la vida de anaquel, una vez establecido el valor límite para el atributo sensorial o característica fisicoquímica en cuestión.

De esta forma, para una reacción con cinética de orden cero, la vida útil puede ser determinada a partir de la ecuación (9) y para una reacción con cinética de primer orden a partir de la ecuación (10), que se expresan de la siguiente forma:

$$ts = \frac{Q_0 - Q_e}{k} \quad (9)$$

$$ts = \frac{\ln \frac{Q_0}{Q_e}}{k} \quad (10)$$

Donde:  $ts$  = tiempo final de la vida útil del producto;  $Q_0$  = valor inicial del atributo de calidad;  $Q_e$  = Valor alcanzado del atributo al tiempo  $ts$ ;  $k$  = constante aparente de reacción.

Es importante considerar que la aplicación de los modelos cinéticos de deterioro de la calidad se limita al alimento para el que fueron diseñados, debido a que un cambio en la composición del sistema tiene efecto en las constantes cinéticas de las reacciones involucradas en el deterioro de las características de calidad y este efecto no se puede predecir (Taoukis y Labuza, 1989). Por tanto, no

se recomienda la extrapolación de resultados a alimentos similares, si no se ha realizado un previo estudio cinético profundo del efecto de los cambios en la composición sobre las reacciones relacionadas con la calidad. Por lo tanto, es necesario aplicar modelos específicos para el alimento en cuestión.

#### 2.4.1. Modelación del efecto de la temperatura.

La temperatura es el factor que mayor influencia tiene sobre la velocidad de las reacciones químicas y enzimáticas, entre las que se encuentran las reacciones de deterioro de los alimentos. El efecto de la temperatura es descrito mediante la ecuación de Arrhenius (11). En esta expresión matemática se muestra la dependencia de la constante de velocidad (o cinética) de una reacción con la temperatura a la que se lleva a cabo esa reacción (García y Molina *et al.*, 2008):

$$K_T = k_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad (11)$$

Donde  $k$  = constante cinética;  $k_0$  = factor pre-exponencial;  $E_A$  = energía de activación ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ );  $R$  = constante universal de los gases ( $8.3145 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ );  $T$  = temperatura (K).

Para ser usada como modelo de regresión lineal entre las variables  $K$  y  $T - 1$ , esta ecuación (11) puede ser reescrita como:

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T}\right) \quad (12)$$

#### 2.5. Estudios previos sobre la modelación del deterioro de VMP

El desarrollo de modelos de predicción de deterioro es una alternativa para reducir riesgos sanitarios y pérdidas en la distribución de VMP (Amodio *et al.*, 2013). Estos modelos han sido utilizados en diversos estudios para describir, de manera efectiva, el deterioro de productos vegetales mínimamente procesados. Por ejemplo, Piagentini *et al.* (2005) reportaron que el modelo cinético de primer orden era adecuado para evaluar el deterioro de la calidad sensorial en lechuga Iceberg y Romana, donde la apariencia general fue el atributo que más se modificaba en función del tiempo y temperatura de almacenamiento, por lo que representó la mayor limitante de la vida de anaquel de este producto.

Posteriormente, Sothornvit y Kiatchanapaibul (2009) evaluaron el efecto del lavado y el envasado en atmósfera modificada en la calidad y seguridad de espárrago fresco cortado. La degradación de la calidad y vida útil se estimó en términos de la disminución del parámetro de color “ángulo de tono ( $h^\circ$ )”, debido a que éste indicó ser la variable más crítica. La degradación del color mostró una cinética de primer orden y una  $E_A$  de 29.33 KJ/mol. A partir del modelo, se estimó una vida útil de 23 días.

En 2012, Oliveira *et al.* Desarrollaron un modelo cinético para describir el efecto de la temperatura sobre la firmeza y predecir la vida útil de champiñones frescos cortados almacenados en atmósfera modificada, durante 7 días a 0, 5, 10 y 15 °C. El orden de reacción de la disminución en firmeza era de primer orden. De esta forma, determinaron que los champiñones cortados tenían una vida útil de 1, 2, 4 y 7.5 a 15, 10, 5 y 0 °C, respectivamente.

Así mismo, Amodio *et al.* (2013) aplicaron modelos de cero y primer orden, así como de Weibull, para evaluar el deterioro de melón fresco cortado, en función de la disminución de apariencia, traslucidez, aroma, firmeza y vitamina C. De esta manera, los autores determinaron que la pérdida de aroma, podría limitar la comercialización de este producto, más que el resto de las variables evaluadas.

Más recientemente, Salinas-Hernández *et al.* (2015) evaluaron los cambios fisicoquímicos y sensoriales de mango fresco cortado mediante modelos de cero y primer orden y la aceptabilidad por consumidores. Con base en coeficiente de determinación ( $R^2$ ), determinaron que el modelo más adecuado para describir el deterioro en este producto, fue el modelo de orden cero. Además, encontraron una fuerte correlación entre la vida útil estimada a partir de las variables fisicoquímica y la obtenida a partir de variables sensoriales y la aceptabilidad.

### III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 3.1. Objetivo general

Determinar la cinética de deterioro y vida de anaquel de frutos tropicales mínimamente procesados.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Determinar la cinética de deterioro de las características fisicoquímicas y sensoriales de rambután, carambola y guayaba mínimamente procesados.
- Estimar la vida de anaquel de rambután, carambola y guayaba mínimamente procesadas, mediante modelos cinéticos de deterioro.
- Evaluar el efecto de la temperatura sobre la vida útil de rambután, carambola y guayaba mínimamente procesados.

#### 3.3. Hipótesis

La aplicación de modelos cinéticos clásicos de deterioro permitirá estimar eficientemente la vida de anaquel de frutos de rambután, carambola y guayaba mínimamente procesados.

#### IV. BIBLIOGRAFÍA

- Alegría, C.; Pinheiro, J.; Duthoit, M.; Goncalves, E. M.; Moldão-Martins, M.; Abreu, M. 2012. Fresh-cut carrot (cv. Nantes) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pre-treatments. *LWT-Food Science and Technology*, 48: 197-203.
- Amodio, M. L.; Derossi, A.; Colelli, G. 2013. Modelling sensorial and nutritional changes to better define quality and shelf life of fresh-cut melons. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(6): 38-45.
- Andrade-Cuvi, M. J.; Moreno-Guerrero, C.; Henriquez-Bucheli, A.; Gómez-Gordillo, A.; Concellón, A. 2010. Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1): 18-27.
- Antala, D. K.; Varshney, A. K.; Davara, P. R.; Sangani, V. P. 2015. Modified atmosphere packaging of guava fruit. *Packag. Technol. Sci*, 28: 557–564.
- Artés, F.; Gómez, P. A.; Artés-Hernández, F. 2009. Pérdida de calidad y su control en productos hortofrutícolas mínimamente procesados en fresco (MPF). In *Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados*, Ed. By González, G. A.; Álvarez, P. E.; De la Rosa, L.; Olivas, I. G.; Ayala, J. F. pp 19-43. Editorial Trillas, México.
- Ávila, Y. H.; Martínez, U. L. F.; Sánchez, H. V.; Vásquez, B. N.; Vázquez, D. J. L. 2006. Diagnóstico del sistema de producción de rambután en la región Soconusco, Chiapas. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, estado de México, México. pp 1-85.
- Bhat, R.; Binti, A. S.; Ching, V. H.; Karim, A. A.; Min, T. L. 2011. Quality attributes of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) juice treated with ultraviolet radiation. *Food Chemistry*, 127: 641–644.
- Caballero-Pérez, J. F.; Arévalo-Galarza, L.; Avendaño-Arrazate, C. H.; Cadena-Iñiguez, J.; Valdovinos-Ponce, G.; Aguirre-Medina, J. F. 2011. Cambios físicos

- y bioquímicos durante el desarrollo y senescencia de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1): 31-38.
- Dash, K.K.; Gope, S.; Sethi, A.; Doloi, M. 2013. Study on thin layer drying characteristics star fruit slices. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(7): 679-686.
- Francis, G. A.; Gallone, A.; Nychas, G. J.; Sofos, J. N.; Colelli, G.; Amodio, L. M.; Spano, G. 2012. Factors Affecting Quality and Safety of Fresh-Cut Produce. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52: 595–610.
- García, B. C.; Chacón, V. G.; Molina, C. M. E. 2011. Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21(2): 31-38.
- García, B. C.; Molina, C. M. E. 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. *Ingeniería*, 18(1,2): 57-64.
- García-Gurría, L.; Salinas-Henández, R. M.; Ulín-Montejo, F.; Petit-Jiménez, D.; Báez-Sañudo, R.; Mercado-Ruiz, J.; García-Robles, J. M.; Pérez-Basurto, J. E. 2013. Efecto del envasado en la conservación de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) almacenados en refrigeración. *Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha*, 14(2):101–108.
- Gol, N. B.; Chaudhari, M. L.; Ramana, R. T. V. 2015. Effect of edible coatings on quality and shelf life of carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit during storage. *J Food Sci Technol*, 52(1):78–91.
- Hernández-Arenas, M. G.; Nieto-Ángel, D.; Martínez-Damián, M. T.; Teliz-Ortíz, D.; Nava-Díaz, C.; Bautista-Martínez, N. 2012. Almacenamiento postcosecha de rambután en dos temperaturas y atmósferas modificadas. *Interciencia*, 37(7): 542-546.
- Hodges, D. M.; Toivonen, P. M. A. 2008. Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biology and Technology*, 48: 155–162.
- Hough, G.; Witting, E. 2005. Introducción al análisis sensorial. In H. Guillermo, & F. Susana (Eds), *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos* (13-16). España: CYTED.

- James, J.; Ngarmsak, T. 2010. *Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide*. Bangkok, Thailand: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 86 p.
- Márquez, V. L.; Pretell V. C. 2013. Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas. *Scientia Agropecuaria*, 4(1): 147-161.
- Martín, B. O.; Sóliva F. R.; Oms Oliu, G. 2009. Cambios microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales de la fruta fresca cortada, de origen templado. In *Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados*. Ed. By González, G. A.; Álvarez, P. E.; De la Rosa, L.; Olivas, I. G.; Ayala, J. F. (44-63). Editorial Trillas, México.
- Mercado-Silva, E.; Aquino-Bolaños; E. N. 2005. Enzimas involucradas en el deterioro. In *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*, Ed. By González-Aguilar, G. A.; Gardea, A. A.; Cuamea-Navarro, F. (177-214). Hermosillo, Sonora: CIAD, A.C.
- Montero-Calderón, M.; Rojas-Graü, M. A.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. 2009. Tendencias en el procesado mínimo de frutas y hortalizas frescas. *Horticultura internacional*, 69(1): 48-51.
- Oliveira F.; Sousa-Gallagher, M. J.; Mahajan, P. V.; Teixeira, J.A. 2012. Development of shelf life kinetic model for modified atmosphere packaging of fresh sliced mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 111: 466–473.
- Parra-Coronado, A. 2014. Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8 (2): 314-327.
- Pérez-Barraza, M. H.; Osuna-García, J. A.; Padilla-Ramírez, J. S.; Sánchez-Lucio, R.; Nolasco-González, Y.; González-Gaona, E. 2015. Fenología, productividad y calidad de fruto de guayaba pulpa crema y rosa en clima tropical en México. *Interciencia*, 4(3): 198-203.
- Piagentini, M. A.; Méndez, J. C.; Guemes, D. R.; Pirovani., M. E. 2005. Modeling changes of sensory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 38, 202-212.

- Pohlan, J.; Vanderlinden, E. J. M.; Janssens, M. J. J. 2008. Harvest maturity, harvesting and field handling of rambutan. *Stewart Postharvest Review*, 4(2): 1-12.
- Ramírez, A.; Pacheco, D. E. 2011. Composición química y compuestos bioactivos presentes en pulpas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 36 (1): 71-75.
- Rangel-Marrón, M.; López-Malo, A. 2012. Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 6(2): 94-109.
- Rathod, A.; Shoba, H.; Chidanand, D.V. 2011. A Study on Shelf life Extension of Carambola Fruits. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2: 1-5.
- Rico, D.; Martín-Diana, A. B.; Barat, J. M.; Barry-Ryan, C. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18: 373-386.
- Robles-Sánchez, M.; Gorinstein, S.; Martín-Belloso, O.; Astiazarán-García, H.; González-Aguilar, G.; Cruz-Valenzuela, R. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia*, 32(4): 227-232.
- Ruíz-López, II.; Ruíz-Espinosa, H.; Hernández-Lara, E.; Zárate-Castillo, B. 2011. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. *Journal of Food Engineering*, 104: 218–226.
- Salinas-Hernández, R. M.; González-Aguilar, G. A.; Pirovani, M. E.; Ulín-Montejo, F. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia trópico húmedo*, 23(2): 183-197.
- Salinas-Hernández, R. M.; González-Aguilar, G. A.; Tiznado-Hernández, M. E. 2015. Utilization of physicochemical variables developed from changes in sensory attributes and consumer acceptability to predict the shelf life of fresh-cut mango fruit. *J Food Sci Technol*, 52(1): 63–77.

- Salinas-Hernández, R. M.; Pirovani, M. E.; Ulín-Montejo, F.; González-Aguilar, G. A. 2009. ¿Se puede predecir la vida de anaquel de un alimento? El caso de frutos mínimamente procesados. *Revista Industria Alimentaria*, 31: 25-34.
- SIAP. 2014. Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>. (Consulta: 21 de Noviembre de 2015).
- Sirisompong, W.; Jirapakkul, W.; Klinkesorn, U. 2011. Response surface optimization and characteristics of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) kernel fat by hexane extraction. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 1946-1951.
- Taoukis, P. S.; Labuza, T. P. 1989. Applicability of time-temperature indicators as shelf-life monitors under non. *Journal of Food Science* 54: 789-792.
- Yam, T. J. A.; Villaseñor, P. G. A.; Romantchik, K. E.; Soto, E. M.; Peña, P. M. A. 2010. Una revisión sobre la importancia del fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L.) y sus principales características en la postcosecha. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(4): 74-82.

# CAPÍTULO I.

## KINETIC PARAMETERS OF CHANGES IN SENSORY CHARACTERISTICS OF MINIMALLY PROCESSED RAMBUTAN

Gladys González González<sup>a</sup>, Rosa Ma. Salinas Hernández<sup>a</sup>, Andrea Marcela Piagentini<sup>b</sup>, Fidel Ulín Montejo<sup>c</sup>, Edith Miranda Cruz<sup>a</sup>, María Élica Pirovani<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-DACA. Villahermosa, Tabasco, México;

<sup>b</sup> Instituto de Tecnología de Alimentos. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina; <sup>c</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-DACB, Villahermosa, Tabasco, México. E-mail: [mpirovan@fiq.unl.edu.ar](mailto:mpirovan@fiq.unl.edu.ar)

### ABSTRACT

The aim of this work was to develop kinetic models to describe the sensory changes of minimally processed rambutan. Quality was assessed by a trained panel. The attributes that most decreased were freshness, aroma, and appearance (17–38%), and the defects that were more increased were off-odors and off-flavors (28–67%). Although whole fruit is sensitive to chilling injury, minimally processed rambutan is preserved better at 4.6 °C. Color, sweetness, and off-odor changes were adjusted to first-order kinetic and the other characteristics to zero order. Sourness, aroma, and color have higher activation energies (235–297.4 KJ mol<sup>-1</sup>), and these characteristics would change faster if failure in the cold chain occurs.

**Key words:** minimal processing, tropical fruits, kinetics, sensory changes.

### INTRODUCCIÓN

Minimal processing can be defined as the handling preparation, packaging, and distribution of agricultural commodities in a fresh-like state, and may include processes, such as trimming, pre-washing, peeling, washing-disinfection, dicing, slicing, and so on. The market of minimally processed fruits and vegetables shows significant growth in the food industry based on changes in eating habits of consumers, mainly in the U.S., Europe, Asia, and other developing countries

(Andrade-Cuvi *et al.*, 2010). From the 1980s and 1990s a continuous innovation and improvement of the distribution channels were developed in this food chain (James and Ngarmsak, 2010). This has allowed the introduction of these products in sectors, such as hotels, restaurants, supermarkets, and other institutions offering fast food (Montero-Calderón *et al.*, 2009).

Currently, there is interest in incorporating fruits of tropical origin to the market of minimally processed vegetable products. The rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) is one of these fruits that has potential to join this market. This fruit belongs to the Sapindaceae family and has its origins in Malaysia and Indonesia (James and Ngarmsak, 2010). Due to their adaptation to tropical climates, nowadays it is cultivated commercially in Mexico, mainly in the states of Chiapas, Tabasco and Yucatán. This fruit is mainly consumed fresh and it is prized for its attractive appearance, bright color and distinctive flavor, besides its juicy pulp (García-Gurría *et al.*, 2013).

The fruit is a round to oval single-seeded berry, 3–6 cm long and 3–4 cm broad, borne in clusters. The skin is reddish (sometimes orange or yellow) and covered with fleshy pliable spines (spinterns). The fruit flesh (arils), is translucent, whitish or very pale pink, with a sweet and sour flavor.

The rambutan fruits have a non-climateric respiratory pattern, therefore, they should to be picked ripe. The development of red color is the main harvest index for red cultivars. A minimum content of 16% soluble solids may also be used as an indicator. However, cultivars vary in their content of soluble solids from 17 to 21% at full maturity. Studies on the chemical composition of rambutan cultivars indicate that this fruit attains a good level of Vitamin C, that is, 30 to 70 mg ascorbic acid 100 g<sup>-1</sup> of edible portion (Pohlan *et al.*, 2008).

Rambutan fruits are temperature sensitive. In general, temperatures in the range of 10-12 °C are recommended with a potential storage time of 12-14 days. The optimum relative humidity recommended is 90-95%; the maintenance of this high relative humidity is essential to minimizing water loss and preventing skin darkening. Symptoms of chilling injury include dark-maroon coloration in some cultivars and bronzing of the skin and spinterns in other cultivars. The minimum

temperature - time combination that induces chilling injury varies among cultivars from 5 °C for more than 7 days to 7 °C for more than 14 days (Kader, 2000). Therefore, the shelf life of whole fruits (with skin) under refrigeration or at ambient temperature is largely limited by the mentioned wilting and browning of their spinterns, which cause an unpleasant appearance (Shao *et al.*, 2013). These changes make more difficult the marketing of the fruits (Caballero-Perez *et al.*, 2011).

Since the fruit skin should be eliminated during minimally processed fruit, this could be favorable to extend the shelf life as well as offering value-added product option. However, it is important to point out that the operations inherent to minimal processing could accelerate other biological reactions, and these changes could impact on sensory characteristics and limit the shelf life (Ruelas-Chacon *et al.*, 2013). No information is available in the literature regarding the impact of minimal processing on rambutan fruit, therefore, it is necessary to know which changes could occur during storage and develop tools to predict deterioration.

The objective of this work was to develop kinetic predictive models of quality loss as a function of temperature and time, in order to analyze and propose appropriate storage conditions to reduce losses in the distribution chain.

## **MATERIALS AND METHODS**

### **Sample preparation**

The rambutan fruits (Seechoompo variety) were obtained in the regional market of Villahermosa, Tabasco, Mexico. They were grown in the state of Chiapas. Fruits of rambutan, at consumption maturity, were first selected and washed with tap water, and then they were sanitized (200 ppm of chlorine) and drained on paper towels. Subsequently, a longitudinal incisión was made on the skin of the fruit with a sharp knife, and then the skin was manually removed from the arils. Finally, the arils were sanitized again (80 ppm of chlorine) and centrifuged with a manual equipment during 20 s to reduce the content of remaining sanitizing solution. The minimal processing was done at ambient temperature (25 °C). Finally, the arils (30 g per container) were placed in polystyrene containers with lids, and stored at 4.6 °C, 8.6

°C, and 12.1 °C, for 14 days, 8 days, and 2 days, respectively, at 68–70 % HR and no light exposure. Each refrigerator has a temperature regulator. The temperatures were chosen in order to represent an industrial cold chain, a habitual refrigerated storage, and a cold storage with a slight abuse of temperature at sales points or at home. Each sample was subjected to sensory analysis as well as to physicochemical analyses.

### **Sensory evaluation**

#### Training of sensory panel

Sessions to assess changes of the sensory profile of minimally processed rambutan were conducted with a trained panel (5 women and 5 men) using specially prepared samples with different levels of deterioration. Through the training sessions, the panelists defined a set of descriptors by setting the appropriate vocabulary for a complete description of minimally processed rambutan. The final selection of descriptors (Table 1) was conducted using the method described by Moskowitz (1983). The results of the training sessions were analyzed using an analysis of variance (ANOVA) with a factorial randomized design with sample and panelist as the independent variables, to determine the homogeneity among the scores granted and achieve a consistent panel (Stone and Sidel, 1993). The training concluded after five sessions when the effect of the panelist of the ANOVA was not significant.

#### Sample evaluation

The evaluation was done in individual cabinets. Rambutan samples were evaluated at different frequencies according to the test temperature, so as to achieve 5–7 product quality data to assess the kinetics of deterioration. Samples were presented in its original container, previously randomly encoded with a three-digit number. Each sample was evaluated two times by each panelist. For each attribute, the evaluation form had a 10-cm line with anchored terms located at 1 cm from each end of the line. The panelists marked the perceived intensity of each attribute on the unstructured scale line. The results were obtained by measuring in centimeters the

distance from the left end up to the indicated mark on the scale for each of the evaluated attributes.

**Table 1. Descriptors and anchored terms used to evaluate the changes of minimally processed rambutan.**

Descriptor	Definition	Anchored terms
<i>Aroma</i>	Related to the natural, typical, pleasant smell of the fruit	Slightly noticeable-Intense
<i>Off- odors</i>	Related to the development of odor other than the fruit aroma	Slightly noticeable-Intense
<i>Appearance</i>	Related to the general visual impact of the fruit	Poor- Optimal
<i>Brightness</i>	Related to the shine of the fruit	Opaque-Bright
<i>Color</i>	Related to the typical color of the pulp fruit, translucent very pale pink or whitish	Poor-Optimal
<i>Freshness</i>	Related to the fruit characteristics at harvest time	Poor-Optimal
<i>Flavor</i>	Related to the taste of the fruit between slightly sour and sweet.	Slightly noticeable-Intense
<i>Sweetness</i>	Related to the intensity of fruit sweetness	Slightly noticeable-Intense
<i>Sourness</i>	Related to the sharp acid taste	Slightly noticeable-Intense
<i>Off-flavor</i>	Related to the development of atypical flavors: fermented, earthy, alcoholic	Slightly noticeable-Intense
<i>Cohesiveness</i>	Related to the resistance of the fruit to break or become deformed during chewing.	Soft-Firm
<i>Juiciness</i>	Related to the amount of juice perceived during consumption	Poor-Optimal

#### Determination of the kinetics of changes in sensory characteristics

To determine the kinetics of change of sensory characteristics of minimally processed rambutan, the following general equation was used:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = kq \cdot [Q]^n \quad (1)$$

where Q is the quality attribute; t the time; n the reaction order, and kq is de quality change rate constant for the attribute Q. The sign (+) refers to attributes with increasing values during time and the sign (–) to attributes with decreasing values. Traditionally, reactions studied in terms of food deterioration are characterized by having zero-order or first-order kinetics (Piagentini *et al.*, 2004; Piagentini *et al.*, 2005; Salinas-Hernández *et al.*, 2010; Amodio *et al.*, 2013). Integrating Eq. (1), the corresponding kinetic equations are obtained.

When  $n = 0$ , the reaction is zero order and the corresponding expression is Eq. (2):

$$Q = Q_0 \pm k_q t \quad (2)$$

Where  $Q_0$  is the initial value of the sensory attribute (cm),  $Q$  is the value of the attribute at time  $t$  (cm),  $k_q$  is the apparent rate constant ( $\text{cm}\cdot\text{day}^{-1}$ ), and  $t$  is the time (day).

When  $n = 1$ , the reaction is first order and is represented by Eq. (3):

$$Q = Q_0 \cdot e^{\pm k_q \cdot T} \quad (3)$$

Where  $Q_0$  is the initial value of the sensory attribute (cm),  $Q$  is the value of the attribute at time  $t$  (cm),  $k_q$  the apparent rate constant ( $\text{day}^{-1}$ ), and  $t$  is the time (day).

The Arrhenius Eq. (4) was used to describe the dependence of the apparent rate constant with temperature:

$$k_{q(T)} = k_0 \exp \left[ - \frac{E_A}{RT} \right] \quad (4)$$

where  $k_0$  is the pre-exponential factor,  $E_A$  the activation energy ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),  $R$  the universal gas constant ( $8.31447 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ), and  $T$  temperature (K).

### Physicochemical attributes evaluation

Soluble solids.

The soluble solids content was determined by triplicate, in aril juice samples, using a hand-held digital refractometer (model Atago Pal-alpha, ATAGO, Tokyo, Japan) with automatic temperature compensation. Results were expressed as °Brix.

Firmness

It was measured by determining the penetration force on 10 fruits per treatment, using a Chatillon penetrometer provided with a conical probe. The results were expressed in Newtons.

Total acidity

A sample of 15 g of aril juice was titrated with a solution of 0.1 N sodium hydroxide until pH 8.1. The analysis was performed by triplicate and results were expressed as % (g citric acid  $100 \text{ g}^{-1}$  juice).

## Statistical analysis

ANOVA analysis was applied to determine the consistency of the panel. The sensory data were modeled through the procedure of linear regression. Sensory data were correlated with physicochemical data through the correlation coefficient (R). The statistical software STATGRAPHICS Centurion XVI (2010) (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA) was used.

## RESULTS AND DISCUSSION

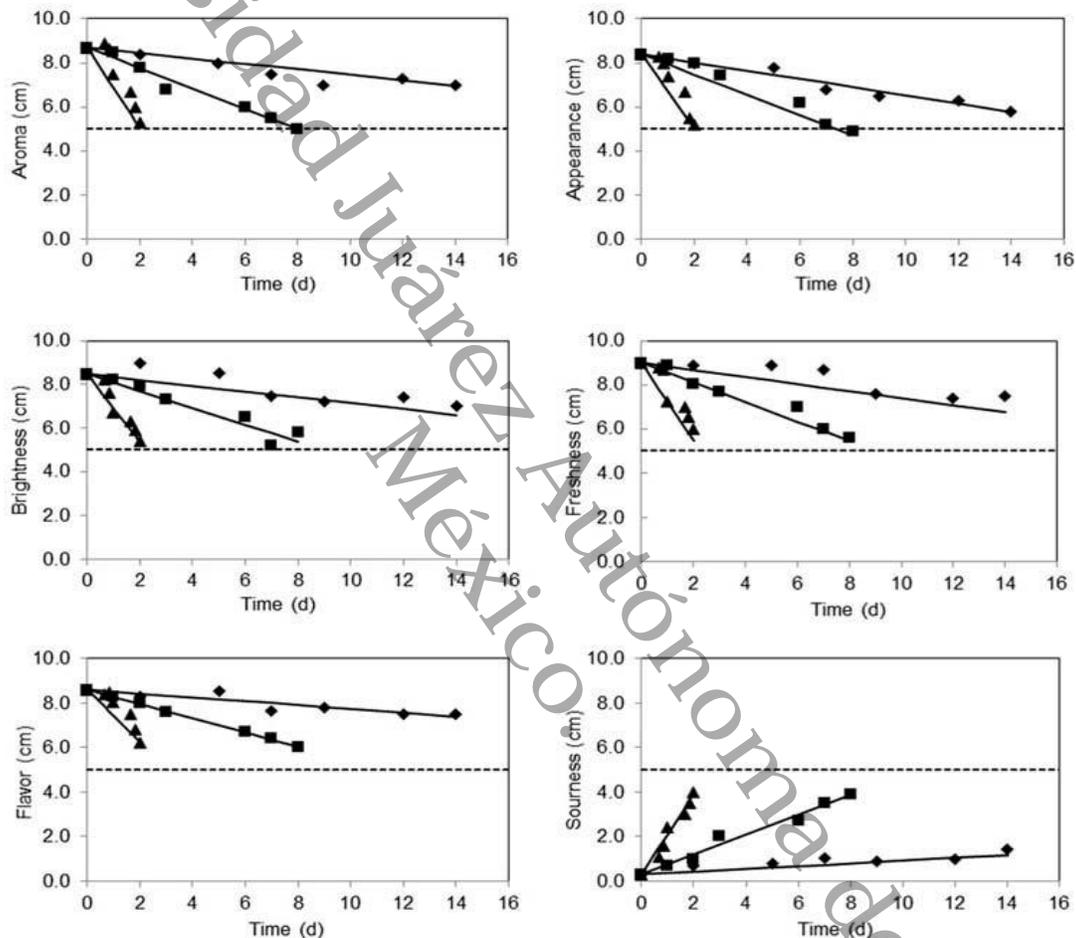
Immediately after minimal processing, the firmness, the total acidity, and the soluble solid content of the MPR were 1.5 N, 0.2%, and 17.8 °Brix, respectively. The value of soluble solids was consistent with those reported by García-Gurria *et al.* (2013), for whole fruits at consumption maturity (80–90% red surface). The scores of the expert panel for the MPR on this day are shown in Table 2. Initial visual attributes, such as freshness and color, received scores 10% lower than the optimum, and the brightness and appearance about 20% lower than the maximum anchored term for each one (bright and optimal, respectively). The aroma and flavor (sweet and sour mix) as well as sweetness give results 10% below their anchored terms that indicate the highest quality.

**Table 2. Minimally processed rambutan fruits on the processing day.**

Sensory attributes	Mean Value	Range
Aroma	8.7 ± 0.25	8.4-8.9
Off-odors	0.3 ± 0.14	0.2-0.5
Appearance	8.4 ± 0.21	8.2-8.6
Brightness	8.5 ± 0.45	8.0-8.9
Color	8.9 ± 0.25	8.8-9.2
Freshness	9.0 ± 0.11	8.9-9.3
Flavor	8.6 ± 0.32	8.4-9.0
Sweetness	8.6 ± 0.10	8.5-8.7
Sourness	0.3 ± 0.15	0.2-0.5
Off-flavor	0.7 ± 0.25	0.4-0.9
Cohesiveness	8.7 ± 0.06	8.6-8.7
Juiciness	8.7 ± 0.21	8.5-8.9

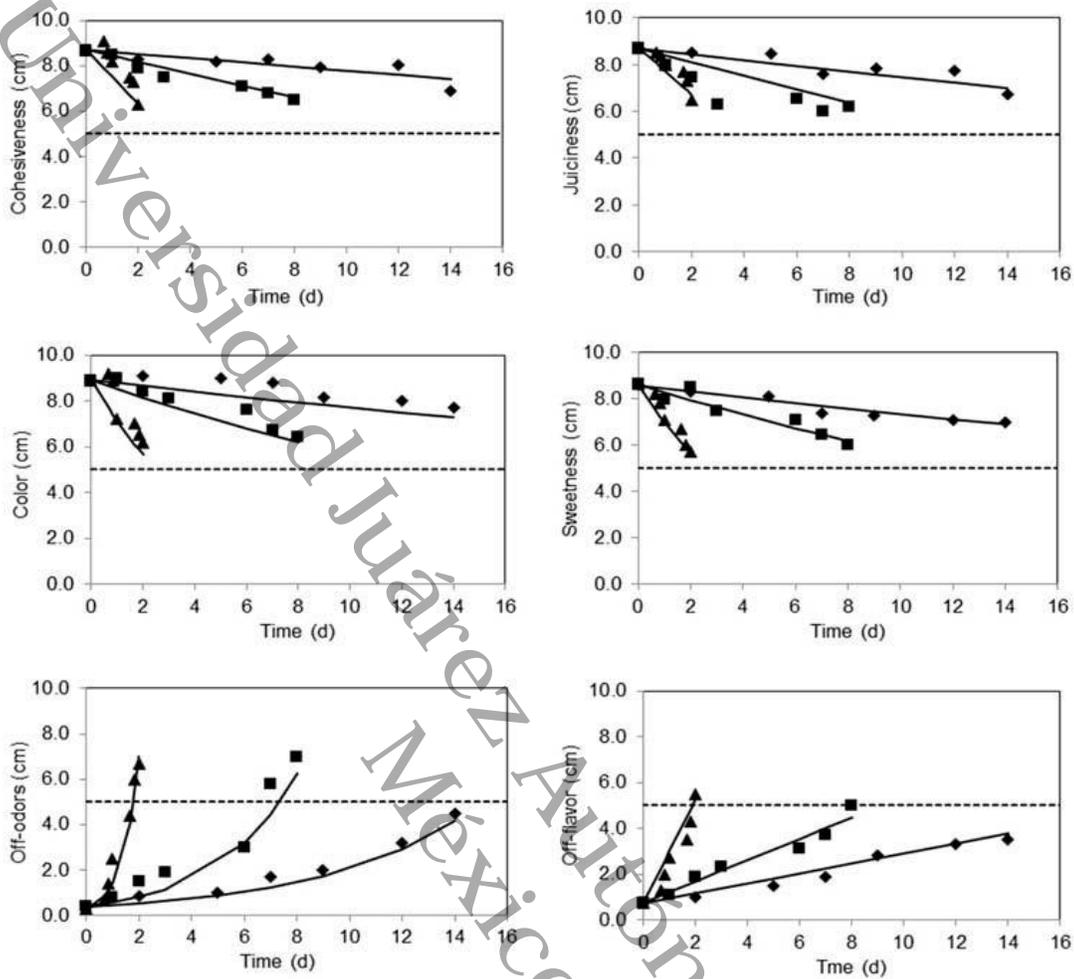
In general, there was an increase of defects and decrease of the desirable attributes at all temperatures tested during storage. The experimental values of samples (stored at 4.6 °C, 8.6 °C, and 12.1 °C for 14 days, 8 days, and 2 days,

respectively) and the appropriate kinetic models are shown in Figures 1 and 2. At the end of storage, the attributes that most decreased were freshness, aroma, and appearance (19–38%, 17–37%, and 26–35% lower than their initial scores, respectively), and the defects that more increased were off-odors (42–67%) and off-flavors (28–48%) for all three temperatures tested.



**Figure 1. Experimental and predicted values of aroma, appearance, brightness, freshness, flavor and sourness of minimally processed rambutan throughout storage at 4.6 (◆), 8.6 (■) and 12.1°C (▲).**

At 4.6 °C, the more significant changes in the sensory attributes were shown in appearance (26.0%), off-odors (42.0%), and off-flavor (28.5%) after 14 days of storage for minimally processed rambutan fruits. The other attributes slightly changed (11.0–19.8%). These results suggest that the appearance, the development of off-odors and off-flavors are the attributes of failure for this product.



**Figure 2.** Experimental and predicted values of cohesiveness, juiciness, color, sweetness, off-odors and off-flavor of minimally processed rambutan throughout storage at 4.6 (◆), 8.6 (■) and 12.1°C (▲).

Analyzing the percentages of changes occurring for the same period at the different temperatures, it can be seen that the change of any attribute quality always is smaller at 4.6 °C than at higher temperatures. These results are showing that the preservation of product is better at temperatures around 4.6 °C, compared with higher temperatures. Therefore, the minimally processed rambutan fruits are not impaired by cold exposure, in contrast with whole fruits as it was indicated by studies of Caballero-Pérez *et al.* (2011) and Shao *et al.* (2013). Undoubtedly, the chilling injury has its main demonstration on the skin but not on the edible part of the fruit (arils), which is used in minimal processing.

The physicochemical analyses indicated that the firmness of the MPR decreased from 1.5 N to 1.02, 0.95, and 0.9 N for 4.6 °C, 8.6 °C, and 12.1 °C, respectively. The soluble solids content decreased from 17.8 °Brix to approximately 15.5 °Brix for all of the assayed temperatures. However, the total acidity increased from 0.2% to 0.36%, 0.42%, and 0.53% for 4.6 °C, 8.6 °C, and 12.1 °C, respectively. It was found that the firmness correlated ( $P < 0.001$ ) positively with appearance (coefficient of correlation,  $R = 0.955$ ), cohesiveness ( $R = 0.934$ ) and juiciness ( $R = 0.864$ ); and negatively with off odors ( $R = -0.943$ ) and off-flavor ( $R = -0.974$ ).

Similarly, the soluble solid content correlated ( $P < 0.001$ ) negatively with the off-flavor development ( $R = -0.976$ ) and off-odors ( $R = -0.958$ ), and positively with the sweetness ( $R = 0.962$ ). On the other hand, total acidity correlated positively with the off-flavor ( $R = 0.953$ ), off-odors ( $R = 0.929$ ) and the sourness ( $R = 0.908$ ), but negatively with sweetness ( $R = -0.944$ ).

To select an appropriate model to represent the quality changes, regression analysis was performed determining the pseudo-order, the rate constant and the coefficient of determination. The performance of the fitted models was analyzed based on the best coefficient of determination ( $R^2$ ) (Table 3).

**Table 3. Coefficients of determination ( $R^2$ ) for zero and first order models for sensory attribute of minimally processed rambutan.**

Attribute	Temperature (°C)					
	4.6		8.6		12.1	
	Reaction order					
	n=0	n=1	n=0	n=1	n=0	n=1
<i>Aroma</i>	0.8741	0.8726	0.9725	0.9817	0.8518	0.8436
<i>Off-odors</i>	0.9228	0.9365	0.9062	0.9071	0.9193	0.9551
<i>Appearance</i>	0.8597	0.8547	0.9713	0.9524	0.8283	0.7898
<i>Brightness</i>	0.7742	0.7838	0.9321	0.9060	0.8653	0.8526
<i>Color</i>	0.8902	0.8913	0.9645	0.9594	0.8519	0.8559
<i>Freshness</i>	0.8978	0.8907	0.9692	0.9657	0.8843	0.8819
<i>Flavor</i>	0.8063	0.8104	0.9989	0.9963	0.8340	0.8110
<i>Sweetness</i>	0.9329	0.9380	0.9103	0.9107	0.9440	0.9306
<i>Sourness</i>	0.8240	0.7431	0.9219	0.9115	0.9622	0.9613
<i>Off-flavor</i>	0.9753	0.9647	0.9532	0.9157	0.9253	0.9557
<i>Cohesiveness</i>	0.7072	0.6867	0.9597	0.9685	0.7849	0.7689
<i>Juiciness</i>	0.8212	0.8038	0.7686	0.7726	0.8417	0.8133

Note. n: reaction order

Further analysis of the plots of residuals versus predicted values (not shown) for each model (zero and first order) was considered in the selection of the appropriate kinetic model. In this sense, it was observed that changes in sweetness, off-odor and color had a better fit to first-order kinetics and changes in the rest of the evaluated sensory attributes had adjusted better to zero order kinetics (Table 3). The fit of the models are confirmed by observing the trend of predicted values using the models (Figures 1 and 2).

This is consistent with previous studies that have obtained a good fit of changes in the sensory attributes of minimally processed vegetables to kinetics of zero and first order. For example, Piagentini *et al.* (2004, 2005), showed that changes in sensory attributes of cabbage, iceberg lettuce, romaine and radicchio, fit properly with the first order kinetic model for overall appearance and off-odors, among others. This is in accordance with the results obtained here for off-odors, but not for appearance where the better fit was obtained with zero-order kinetics. Contrary to the present study, Salinas-Hernandez *et al.* (2007) observed that the changes in appearance of fresh-cut strawberries followed a first-order kinetic and the development of off-odor followed a zero-order kinetic. However, the kinetic orders obtained for aroma, flavor, and off-flavor agree with the results obtained here for these attributes of minimally processed rambutan.

Finally, the activation energy of the kinetics of each sensory attributes was determined using the Arrhenius model (Table 4). The coefficients of determination ( $R^2$ ) indicated the goodness of fit of the Arrhenius model. The  $R^2$  was about 0.98–0.99 for many attributes, indicating a good fit to the experimental data.

As it is shown in Table 4, the sourness, color and aroma have higher activation energy values, suggesting a greater effect of temperature on the rate of change of these characteristics. Furthermore, the lower activation energies were obtained for juiciness, off-odor and appearance, indicating that these attributes are less influenced by temperature changes within the range studied. Comparing with results obtained by Piagentini *et al.* (2004, 2005) the activation energies for appearance and off-odors of minimally processed leafy vegetable were lower than those obtained in this study for minimally processed rambutan.

**Table 4. Rate constant ( $k_q$ ) and activation energies of sensory attribute changes of minimally processed rambutan.**

Attribute and reaction order <sup>z</sup>	Temperature (°C)	$k_q$	$R^{2y}$	$E_A$ (KJ.mol <sup>-1</sup> )	$R^{2x}$
<i>Aroma</i> <i>n=0</i>	4.6	0.1244	0.87	235.1	0.99
	8.6	0.4638	0.97		
	12.1	1.8261	0.85		
<i>Appearance</i> <i>n=0</i>	4.6	0.1878	0.86	191.9	0.98
	8.6	0.4633	0.97		
	12.1	1.6988	0.83		
<i>Brightness</i> <i>n=0</i>	4.6	0.1334	0.77	214.8	0.98
	8.6	0.3877	0.93		
	12.1	1.5651	0.87		
<i>Color</i> <i>n=1</i>	4.6	0.0144	0.89	239.6	0.98
	8.6	0.0451	0.96		
	12.1	0.2251	0.86		
<i>Freshness</i> <i>n=0</i>	4.6	0.1603	0.90	209.4	0.98
	8.6	0.4448	0.97		
	12.1	1.7698	0.88		
<i>Flavor</i> <i>n=0</i>	4.6	0.0853	0.81	229.4	0.99
	8.6	0.3216	0.99		
	12.1	1.1705	0.83		
<i>Sweetness</i> <i>n=1</i>	4.6	0.0156	0.94	226.1	0.97
	8.6	0.0418	0.91		
	12.1	0.2099	0.93		
<i>Sourness</i> <i>n=0</i>	4.6	0.0619	0.82	297.4	0.99
	8.6	0.4454	0.92		
	12.1	1.8209	0.96		
<i>Cohesiveness</i> <i>n=0</i>	4.6	0.0929	0.71	222.5	0.98
	8.6	0.2621	0.96		
	12.1	1.1941	0.78		
<i>Juiciness</i> <i>n=0</i>	4.6	0.1226	0.82	181.6	0.98
	8.6	0.2895	0.77		
	12.1	0.9851	0.84		
<i>Off-odors</i> <i>n=1</i>	4.6	0.1768	0.98	191.7	0.93
	8.6	0.3436	0.95		
	12.1	1.6159	0.93		
<i>Off-flavor</i> <i>n=0</i>	4.6	0.2172	0.94	203.0	0.94
	8.6	0.4697	0.91		
	12.1	2.2552	0.96		

<sup>z</sup>For  $n = 0$ :  $k_q$  (cm.day<sup>-1</sup>),  $n = 1$ :  $k_q$  (day<sup>-1</sup>).

<sup>y</sup>Coefficient of determination of the regression  $k_q$  as a function of time.

<sup>x</sup>Coefficient of determination of the regression  $\ln k_q$  as a function of the inverse of temperature (K).

## CONCLUSIONS

Changes in all sensory attributes assessed as a function of time and temperature storage were observed. Therefore, these characteristics could be established as indicators of quality loss of minimally processed rambutan. It was

found that the defects that more affect sensory quality, that is, off-flavor and off-odor development, increased with the decrease of firmness and soluble solid content, and the increase of total acidity. Moreover, this work shows that it is possible to elaborate a minimally processed product from rambután and demonstrates that storage at 4.6 °C will provide adequate preservation of the attributes during the storage.

The activation energies obtained here indicate that the sensory characteristics are highly influenced by temperature. In this sense, sourness, color, and aroma are the attributes that can be altered faster if faults occur in the cold chain during storage.

The developed models allow estimating the changes that might occur in the sensory quality of the product at temperatures in the range from 4.6 °C to 12.1 °C. From this information, strategies can be developed to improve their conservation on storage and/or distribution chain.

#### **FUNDING**

The authors gratefully acknowledge Universidad Nacional del Litoral and ANPCYT for the financial support through projects UNL-CAID and PICT-2012 No. 2646, and to the Mexican Council for Science and Technology (CONACYT) and the Universidad Juarez Autonoma de Tabasco (UJAT) for the financial support received by Gladys Gonzalez Gonzalez to do a research fellowship at the Universidad Nacional del Litoral (UNL) at Santa Fe, Argentina.

#### **LITERATURE CITED**

Amodio, M.L., A. Derossi, and G. Colelli. 2013. Modelling sensorial and nutritional changes to better define quality and shelf life of fresh-cut melons. *J. Agr. Eng.* 44(6):38–45.

Andrade-Cuvi, M.J., C. Moreno-Guerrero, A. Henriquez-Bucheli, A. Gómez-Gordillo, and A. Concellón. 2010. Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana Tecnol. Postcosecha*, 11(1):18–27.

- Caballero-Pérez, J.F., L. Arévalo-Galarza, C.H. Avendaño-Arrazate, J. Cadena-Iñiguez, G. Valdovinos-Ponce, and J.F. Aguirre-Medina. 2011. Cambios físicos y bioquímicos durante el desarrollo y senescencia de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.). *Revista Chapingo. Ser. Hort.* 17(1):31–38.
- García-Gurría, L., R.M. Salinas-Henández, F. Ulín-Montejo, D. Petit-Jiménez, R. Báez-Sañudo, J. Mercado-Ruiz, J.M. García-Robles, and J.E. Pérez-Basurto. 2013. Efecto del envasado en la conservación de frutos de rambután (*Nephelium Lappaceum* L.) almacenados en refrigeración. *Revista Iberoamericana Tecnol. Postcosecha.* 14(2):101–108.
- James, J.B., and T. Ngarmak. 2010. Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide, p. 86. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.
- Kader, A. 2000. Rambutan: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Fact Sheet Perishables Handling No. 104. November 2000. <<http://postharvest.ucdavis.edu>>.
- Montero-Calderón, M., M.A. Rojas-Grau, R. Soliva-Fortuny, and O. Martín-Belloso. 2009. *Tendencias en el procesado mínimo de frutas y hortalizas frescas.* *Hort. Intl.* 69(1):48–51.
- Moskowitz, H.R. 1983. Product testing and sensory evaluation of foods, p. 24–30. Food & Nutrition Press, Trumbull, Connecticut.
- Piagentini, M.A., J.C. Méndez, D.R. Güemes, and M.E. Pirovani. 2005. Modeling changes of sensory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 38:202–212.
- Piagentini, M.A., M.E. Pirovani, and D.R. Güemes. 2004. Cinética de deterioro de la calidad de repollo fresco cortado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos,* 4(3):169–176.
- Pohlan, J., E. Vanderlinden, and M. Janssens. 2008. Harvest maturity, harvesting and field handling of rambutan. *Stewart Postharvest Review,* 2:11. Ed. Stewart Postharvest Solutions Ltd. (UK) Online, United Kingdom.
- Ruelas-Chacón, X., M. Reyes-Vega, B. Valdivia-Urdiales, J.C. Contreras-Esquível, J.C. Montañez-Saenz, A.F. Aguilera-Carbó, and R.D. Peralta-Rodríguez. 2013. Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas

- con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9):31–37.
- Salinas-Hernández, R.M., G.A. González-Aguilar, M.E. Pirovani, and F. Ulín-Montejo. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia*, 23(2):183–197.
- Salinas-Hernández, R.M., M.E. Pirovani, A.A. Gardea-Béjar, and G.A. González-Aguilar. 2010. Cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de mango. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3):215–223.
- Shao, Y., J. Xie, P. Chen, and W. Li. 2013. Changes in some chemical components and in the physiology of rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L.) as affected by storage temperature and packing material. *Fruits*, 68:15–24.
- STATGRAPHICS® Centurion XVI. 2010. Manual de usuario. StatPoint Technologies, Inc, Warrenton, VA.
- Stone, H., and J.L. Sidel. 1993. Sensory evaluation practices, 338 p. Academic Press, San Diego, CA, USA.

## CAPÍTULO II.

### MODELACIÓN CINÉTICA DE CAMBIOS SENSORIALES Y VIDA DE ANAQUEL DE CARAMBOLA MÍNIMAMENTE PROCESADA

Gladys González-González<sup>1</sup>, María E. Pirovani<sup>2</sup>, Andrea M. Piagentini<sup>2</sup>, Fidel Ulín-Montejo<sup>3</sup>, Edith Miranda-Cruz<sup>1</sup>, Rodolfo Osorio-Osorio<sup>1</sup>, Emilio J. Maldonado-Enriquez<sup>4</sup>, Rosa M. Salinas-Hernández<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km 25 Carretera Villahermosa-Teapa. 86000 Centro. Tabasco, México.

<sup>2</sup>Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santiago del Estero 2829, Santa Fe, Argentina. <sup>3</sup>División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Cunduacán-Jalpa km. 1 Colonia La Esmeralda CP. 86690.

*Autor para correspondencia* ([rosa.salinas@ujat.mx](mailto:rosa.salinas@ujat.mx))

#### RESUMEN

Frutos de carambola (*Averrhoa carambola* L.) se procesaron y almacenaron a 4.9, 7.8 y 12.8 °C durante 14, 8 y 3 d, respectivamente. La cinética de los cambios sensoriales, evaluados durante el almacenamiento por un panel entrenado, se determinó mediante el ajuste de modelos derivados de la ecuación general de deterioro, con base en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), obtenida por análisis de regresión lineal simple. A partir de las constantes cinéticas del modelo ajustado, se obtuvo la energía de activación ( $E_A$ ), para cada atributo, mediante la ecuación de Arrhenius. La vida de anaquel del producto se estimó a partir de las constantes cinéticas y el valor medio de la escala lineal de 10 cm para cada característica sensorial evaluada. Los resultados indicaron que el olor característico, olor extraño, brillo, sabor característico, consistencia y jugosidad, siguieron una cinética de primer orden, mientras que el resto de los atributos ajustaron a una cinética de orden cero. Así mismo, la consistencia, olor característico y sabor extraño mostraron los valores mayores de energía de activación, mientras que el color característico jugosidad y olor fermentado tuvieron los menores valores de este parámetro. La vida de anaquel

estimada de la carambola mínimamente procesada fue de 11, 6 y 2 d para las temperaturas de 4.9, 7.8 y 12.8 °C, respectivamente. Se obtuvo que los cambios limitantes de la vida de anaquel fueron la aparición de olor fermentado y el oscurecimiento. Los modelos cinéticos evaluados podrían ser útiles para estimar el deterioro del producto en condiciones variables de temperatura, y así establecer estrategias adecuadas de manejo durante el procesamiento, almacenamiento y distribución del producto.

**Palabras clave:** *Averrhoa carambola* L., almacenamiento refrigerado, deterioro de calidad, procesado mínimo, vida útil sensorial

### SUMMARY

Star fruits (*Averrhoa carambola* L.) were processed and stored by 4.9, 7.8 and 12.8 °C for 14, 8 and 3 d, respectively. Kinetics of sensory changes, evaluated during storage for a trained panel, were determined by fitting models obtained from the deterioration general model, based on the coefficient of determination ( $R^2$ ) obtained by linear regression analysis. From the kinetic constants of the fitted model, the activation energy ( $E_A$ ) for each attribute was obtained by means of the Arrhenius equation. The shelf-life of the product was estimated from the kinetic constants and the middle value of the linear scale of 10 cm for each sensory characteristic evaluated. The results indicated that aroma, off-odor, brightness, flavor, cohesiveness and juiciness, fitted to the first-order kinetic, while the rest of the attributes followed a zero-order kinetic. Likewise, cohesiveness, off-odor and off-flavor showed the greatest activation energy values, while color, juiciness and fermented odor had the lowest values of this parameter. Shelf-life estimated for the minimally processed star fruit was 11, 6 and 2 d at 4.9, 7.8 and 12.8 °C, respectively. It was obtained that the changes that limited shelf-life were off-odors (fermented) and browning. The kinetic models evaluated could be useful to estimate rate of deterioration of the product under varying conditions of temperature, and so establish appropriate strategies to maintain the quality of the product during processing, storage and distribution.

**Keywords:** *Averrhoa carambola* L., refrigerated storage, quality deterioration, minimal processing, sensory shelf-life

## INTRODUCCIÓN

El mercado de frutos mínimamente procesados, constituyen un sector de rápido crecimiento dentro de la industria alimentaria, debido a la alta demanda de alimentos de fácil preparación y consumo que, aporten beneficios para la salud (Robles-Sánchez *et al.*, 2007; Andrade-Cuvi *et al.*, 2010). La carambola (*Averrhoa carambola* L.) es un fruto con potencial para integrarse a este mercado, es nativa de India, Indonesia y Sri Lanka, y muy popular en muchos países tropicales (James y Ngarmsak, 2010). Este fruto representa una importante fuente de antioxidantes naturales tales como vitamina C, carotenoides y compuestos fenólicos (Ruiz-López *et al.*, 2011).

El mínimo procesamiento, engloba operaciones como lavado, pelado, deshuesado, cortado y sanitizado (Andrade-Cuvi *et al.*, 2010). Los productos son colocados en bolsas selladas o empaques semipermeables y almacenados, con o sin atmósfera modificada, en refrigeración (Francis *et al.*, 2012; Rangel-Marrón y López-Malo, 2012).

La comercialización de los frutos mínimamente procesados puede estar limitada en gran parte por el excesivo ablandamiento de tejidos y el pardeamiento (Teixeira *et al.*, 2012), debido a que su metabolismo, después de la cosecha y del procesamiento, sigue activo (Rangel-Marrón y López-Malo, 2012). Además, el procesamiento mínimo acelera algunas reacciones biológicas, como la respiración y la pérdida de humedad (Rathod *et al.*, 2011). Estas reacciones, inducen a cambios que impactan principalmente las características sensoriales del producto, pudiendo limitar la vida de anaquel (Alegría *et al.*, 2012; Ruelas-Chacón *et al.*, 2013).

Una herramienta para predecir los cambios que inducen al deterioro y disminución de la vida de anaquel en frutos mínimamente procesados, es la aplicación de modelos cinéticos de deterioro (Salinas-Hernández *et al.*, 2007 y 2009; García *et al.*, 2011). El objetivo de este trabajo fue aplicar modelos cinéticos predictivos de la pérdida de calidad en función de la temperatura y el tiempo, que

puedan ser de utilidad para proponer condiciones de conservación adecuadas para reducir las pérdidas de calidad en la distribución de carambola mínimamente procesada.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Obtención de los frutos y preparación de muestras**

Frutos de carambola tipo ácida en madurez de consumo ( $5.24 \pm 0.23$  °Bx) se cosecharon en la Finca “Las Liliás”, ubicada en el Km 42 de la Carretera Villahermosa-Teapa, Tabasco, México. Los frutos fueron lavados con agua corriente y luego sanitizados, en agua clorada (200 ppm) y secados sobre papel absorbente. Después, los frutos se cortaron manualmente en rebanadas en forma de estrella de 5 a 7 mm de espesor, aproximadamente, eliminando la cáscara y semillas. El producto cortado se sanitizó en agua clorada (80 ppm). El resto de la solución sanitizante se eliminó por centrifugado en centrífuga casera para vegetales. Las muestras se envasaron en recipientes de poliestireno (30 g por muestra) y se almacenaron a 4.9, 7.8 y 12.8 °C por 14, 8 y 3 d, respectivamente. La temperatura de cada enfriador fue monitoreada, para estimar la temperatura promedio a la que se encontraban las muestras durante el almacenamiento. Las condiciones de almacenamiento fueron elegidas de manera que representaran: a) Una cadena de frío industrial; b) Un almacenamiento refrigerado habitual; c) Un almacenamiento en frío con un ligero abuso de temperatura en los puntos de venta o en casa.

### **Evaluación sensorial**

#### **Entrenamiento del panel**

La evaluación se realizó con un panel sensorial, previamente seleccionado y entrenado (5 mujeres y 5 hombres). El entrenamiento específico del panel para la evaluación de la carambola cortada consistió de 4 sesiones, con duración de 30 min, donde se evaluaron muestras de referencia del producto con diferentes grados de deterioro. Durante estas sesiones se generaron los descriptores y términos ancla que integraron la planilla de evaluación. Los términos ancla obtenidos fueron: “Pobre-Óptimo” para olor característico, frescura, color característico y sabor característico; “Nulo-Intenso” para olor fermentado, olor extraño, brillo,

oscurecimiento, sabor extraño, jugosidad y textura fibrosa; “Opaca-Brillante” para apariencia; “Seco-Jugosa” para jugosidad; “Blanda-Firme” para consistencia. El entrenamiento concluyó al no observar diferencias significativas entre las puntuaciones de los panelistas durante la valoración de las muestras de referencia presentadas.

#### Evaluación de muestras

Las muestras se evaluaron en cabinas individuales, en una fecha diferente para cada temperatura de ensayo. Los jueces recibieron las muestras en forma aleatoria, en su recipiente original, previamente codificado con números aleatorios de tres cifras. La intensidad de cada atributo, percibida por los jueces, fue indicada colocando una marca en una escala lineal no estructurada de 10 cm con términos ancla en los extremos. Los datos resultantes, se obtuvieron al medir (cm) la distancia del ancla izquierda, hasta la marca colocada por el evaluador.

#### Determinación de la cinética de los cambios sensoriales

Para determinar la cinética de cambio de los atributos sensoriales, se utilizó la ecuación general:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = kQ^n \quad (1)$$

Donde Q: es el atributo de calidad; t: el tiempo; n: el orden de reacción; k: constante aparente de reacción Q. El signo (+) refiere a atributos cuyo valor aumenta con el tiempo y el signo (-) a atributos cuyo valor disminuye con el tiempo.

Al integrar la ecuación (1), se obtuvieron las ecuaciones correspondientes a las cinéticas de reacción de cero y primer orden.

Si en la ecuación (1)  $n=0$ , la reacción es de orden cero y se expresa como:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = k \quad (2)$$

Resolviendo la ecuación (2) se obtiene la expresión correspondiente a la cinética de orden cero:

$$Q = Q_0 - kt \quad (3)$$

Donde  $Q_0$ : valor inicial del atributo de calidad (cm); Q: valor del atributo en el tiempo t (cm); k: constante aparente de reacción ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ); t: tiempo (d).

Cuando en la ecuación (1)  $n = 1$  la reacción es de primer orden y se tiene entonces la siguiente ecuación:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = kQ \quad (4)$$

Y al resolver la ecuación (4) se obtiene la expresión correspondiente a la cinética de primer orden:

$$\ln \frac{Q}{Q_0} = -kt \quad (5)$$

Donde  $Q_0$ : valor inicial del atributo de calidad (cm);  $Q$ : valor del atributo en el tiempo (cm)  $t$ ;  $k$ : constante aparente de reacción ( $d^{-1}$ );  $t$ : tiempo (d).

### **Dependencia de la temperatura**

Para describir la dependencia de la constante aparente de velocidad de cambio con la temperatura se utilizó la ecuación de Arrhenius:

$$k_T = k_0 \exp \left[ - \frac{E_A}{RT} \right] \quad (6)$$

Donde  $k$ : constante cinética ( $cm \cdot d^{-1}$  o  $d^{-1}$ ),  $k_0$ : factor pre-exponencial,  $E_A$ : energía de activación ( $J \cdot mol^{-1}$ ),  $R$ : constante de los gases ideales ( $8.31447 JK^{-1} \cdot mol^{-1}$ ) y  $T$ : temperatura (K).

### **Predicción de la vida de anaquel**

Considerando un cambio máximo permisible en un atributo y asumiendo éste como valor final, se puede calcular, a partir del valor inicial y la constante cinética ( $k$ ), el tiempo en que se alcanza dicho cambio, indicando la vida de anaquel con base en este atributo (Salinas-Hernández *et al.*, 2009). Por lo tanto, para establecer la vida de anaquel a partir del nivel de un atributo en particular, se tiene la siguiente expresión:

$$Q_e = Q_0 - kt_s \quad (7)$$

Donde  $Q_0$  = valor inicial del atributo de calidad;  $Q_e$  = valor alcanzado del atributo en el tiempo  $t_s$ ;  $t_s$  = final de la vida de anaquel del producto;  $k$  = constante aparente de reacción.

A partir de la ecuación (7), es posible calcular el tiempo correspondiente a la vida de anaquel, una vez establecido el valor límite para el atributo o característica en cuestión. Este valor puede establecerse como un valor mínimo de la intensidad del atributo evaluado por un panel entrenado (Salinas-Hernández *et al.*, 2009), o como punto de corte establecido por correlación entre la aceptabilidad por el panel de consumidores y la evaluación por el panel entrenado (Curia *et al.*, 2005). En este trabajo, se estableció al punto medio de la escala lineal de 10 cm (5.0 cm) como valor límite de intensidad para cada atributo al final del almacenamiento (Piagentini *et al.*, 2004 y 2005).

En el caso de un cambio con cinética de orden cero, la vida de anaquel puede ser determinada a partir de la siguiente ecuación:

$$t_s = \frac{Q_0 - Q_e}{k} \quad (8)$$

Para un cambio con cinética de primer, orden la vida de anaquel se puede determinar a partir de la ecuación siguiente:

$$t_s = \frac{\ln \frac{Q_0}{Q_e}}{k} \quad (9)$$

Donde  $t_s$ , = final de la vida de anaquel del producto;  $Q_0$  = valor inicial del atributo de calidad;  $Q_e$  = valor alcanzado del atributo al tiempo  $t_s$ ;  $k$  = constante aparente de reacción.

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos en la evaluación descriptiva cuantitativa se analizaron mediante regresión lineal simple, utilizando el software STATGRAPHICS Plus (Manugistics, Inc. Rockville, MD, USA), para determinar la tasa de cambio de los atributos sensoriales en función de la temperatura de almacenamiento.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados del análisis descriptivo cuantitativo de las muestras, indicaron la disminución de características deseables (olor, color y sabor característico, apariencia, frescura, brillo, consistencia, jugosidad y textura fibrosa) e incremento

de las indeseables (olor y sabor extraño, olor fermentado y oscurecimiento), a mayor tiempo y temperatura de almacenamiento.

La textura fibrosa fue la característica que más disminuyó (38-49%), seguida por frescura (32-45%) y apariencia (30-43%), a las tres temperaturas. En el otro extremo, las características que menos disminuyeron fueron jugosidad (18-22%) y olor característico (14-38%). En contraste, el olor fermentado fue la característica que más aumentó (64-72%), a las tres temperaturas. El oscurecimiento también mostró porcentajes altos de aumento (46-56%), durante el almacenamiento a las tres temperaturas ensayadas. En el caso de olor y sabor extraño, el aumento fue en proporción al incremento de temperatura, por lo que obtuvieron porcentajes de aumento desde 21 y 26% a 4.9 °C, respectivamente, hasta 69 y 72% a 12.8 °C. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Finnegan y O'Beirne (2015) para frutos de piña, fresas y kiwi frescos cortados, almacenados en atmósfera modificada, donde los principales cambios consistieron en la descomposición del tejido, pérdida de firmeza, aumento de malos olores y pérdida de color reflejado en oscurecimiento y translucidez de las muestras. Al respecto, Do Nascimento, (2015) menciona que los atributos de apariencia, frescura y color son considerados indicadores para evaluar la calidad inmediata de los productos frescos cortados y pueden determinar la aceptación o rechazo de los mismos, seguidos por textura, sabor y olor, que son los atributos que determinan la adquisición del producto, nuevamente.

La cinética de los cambios observados a las tres temperaturas ensayadas, eran de primer orden para olor característico, olor extraño, brillo, sabor característico, consistencia y jugosidad, mientras que, para el resto de las variables los cambios tenían una cinética de orden cero ( $R^2 = 0.80$  a  $0.98$ ). Por lo general, las reacciones de deterioro de alimentos corresponden a cinéticas de cero y primer orden (Mousen *et al.*, 2014). Por ejemplo, en 2005, Piagentini *et al.* Observaron que modelo cinético de primer orden era el más adecuado para describir los cambios en apariencia general, amarronamiento, malos olores y marchitamiento de achicoria, lechuga Iceberg y Romana, almacenadas a temperaturas en el rango de 2 y 20 °C. Por su parte, Salinas-Hernández *et al.* (2010) reportaron que los cambios

fisicoquímicos (color, SST, firmeza y pH) y sensoriales (dulzor, textura, brillo, color, sabor, olor y apariencia) de mango “Haden” fresco cortado, almacenado a 5 °C, seguían una cinética de orden cero. Posteriormente, Benítez *et al.* (2012) indicaron que la textura de piña fresca cortada almacenada a 4, 7, y 13 °C mostraba una cinética de orden cero.

En las Figuras 1 y 2, se representa la tendencia de los valores experimentales y de los obtenidos mediante los modelos de predicción. De esta forma se puede confirmar que los modelos cinéticos de cero y primer orden, fueron adecuados para describir el deterioro de la calidad sensorial de carambola mínimamente procesada a diferentes condiciones de almacenamiento.

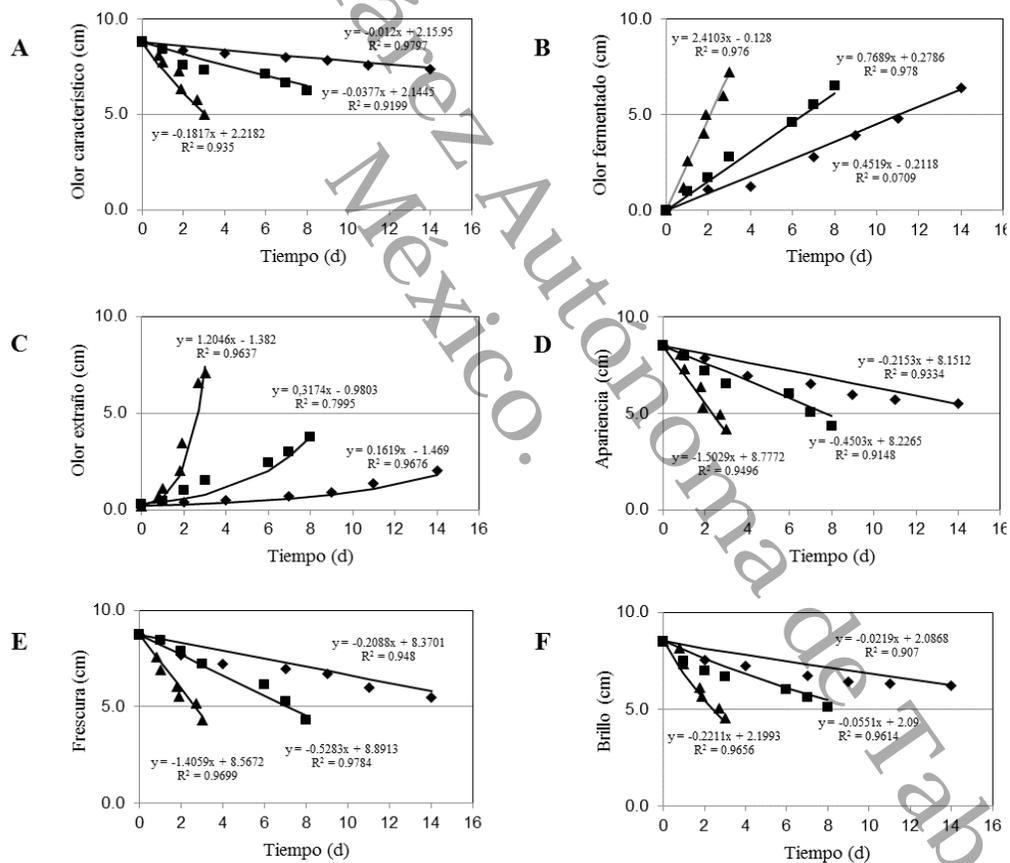
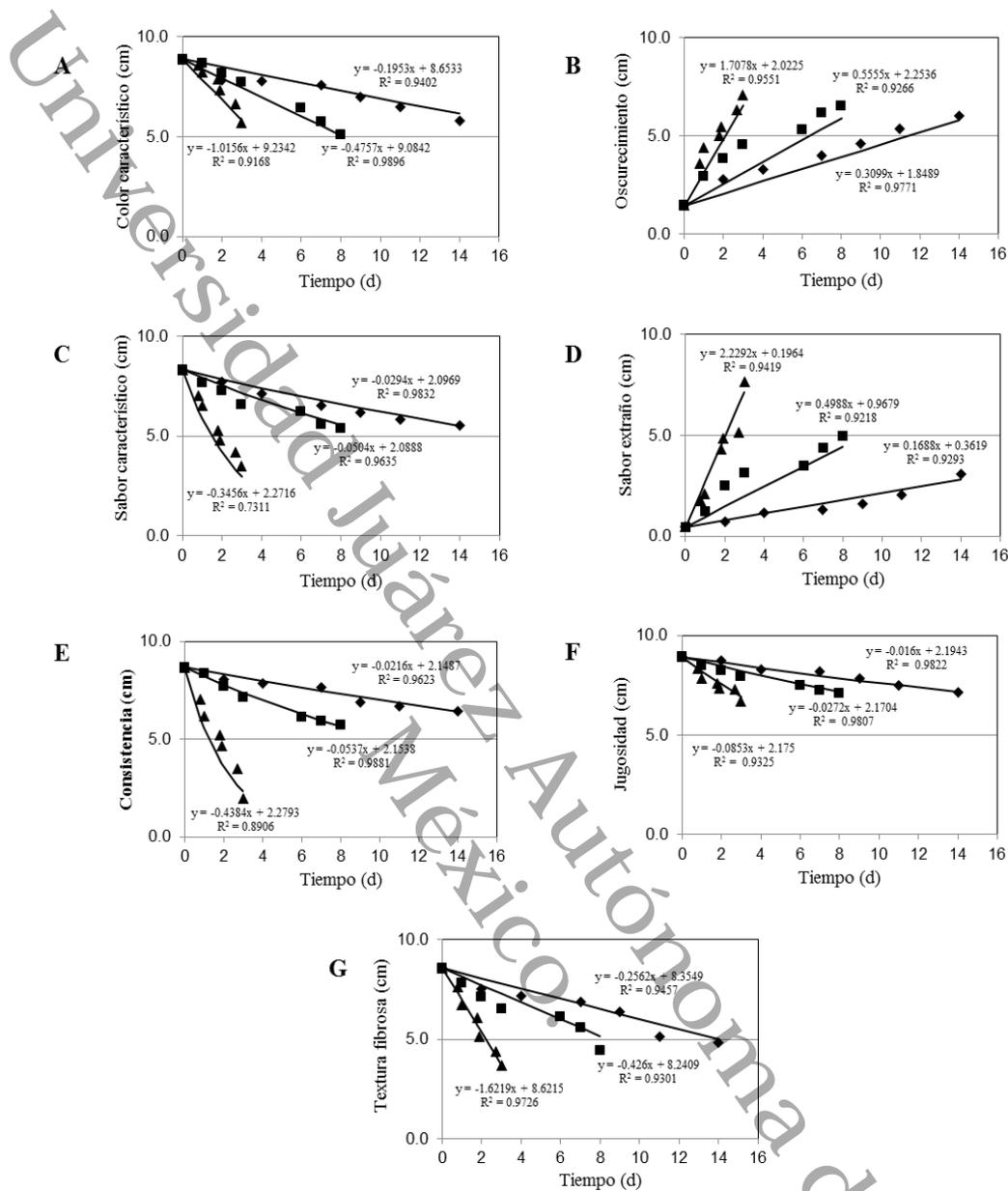


Figura 1. Valores experimentales y predichos de olor característico, olor fermentado, olor extraño, apariencia, frescura y brillo de carambola mínimamente procesada, almacenada a 4.9 (◆), 7.8 (■) y 12.8 (▲) °C.



**Figura 2.** Valores experimentales y predichos de color característico, oscurecimiento, sabor característico, sabor extraño, consistencia, jugosidad y textura fibrosa de carambola mínimamente procesada, almacenada a 4.9 (♦), 7.8 (■) y 12.8 (▲) °C.

En el Cuadro 1, se muestra el orden de reacción (n) y las constantes de velocidad (k) del modelo mejor ajustado a los cambios evaluados. De esta manera se puede observar que los valores de k son mayores conforme aumenta la temperatura de almacenamiento, indicando una mayor velocidad de cambio en el atributo con respecto al tiempo (Salinas-Hernández *et al.*, 2009).

**Cuadro 1. Orden de reacción (n) y constante de velocidad (k) de mejor ajuste para los cambios en características sensoriales de carambola mínimamente procesada.**

Característica y orden de reacción	Temperatura (°C)	*Constante aparente de reacción (k)	Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )
Olor característico n=1	4.9	0.0120	0.98
	7.8	0.0377	0.92
	12.8	0.1817	0.94
Olor fermentado n=0	4.9	0.4519	0.97
	7.8	0.7689	0.98
	12.8	2.4103	0.98
Olor extraño n=1	4.9	0.1619	0.97
	7.8	0.3174	0.80
	12.8	1.2046	0.96
Apariencia n=0	4.9	0.2153	0.93
	7.8	0.4503	0.91
	12.8	1.5029	0.95
Frescura n=0	4.9	0.2088	0.95
	7.8	0.5283	0.98
	12.8	1.4059	0.97
Brillo n=1	4.9	0.0219	0.91
	7.8	0.0551	0.96
	12.8	0.2211	0.97
Color característico n=0	4.9	0.1953	0.94
	7.8	0.4757	0.99
	12.8	1.0156	0.92
Oscurecimiento n=0	4.9	0.3099	0.98
	7.8	0.5555	0.93
	12.8	1.7078	0.96
Sabor característico n=1	4.9	0.0294	0.98
	7.8	0.0504	0.96
	12.8	0.3456	0.73
Sabor extraño n=0	4.9	0.1688	0.93
	7.8	0.4988	0.92
	12.8	2.2292	0.94
Consistencia n=1	4.9	0.0216	0.96
	7.8	0.0537	0.99
	12.8	0.4384	0.90
Jugosidad n=1	4.9	0.0160	0.98
	7.8	0.0272	0.98
	12.8	0.0853	0.93
Textura fibrosa n=0	4.9	0.2562	0.95
	7.8	0.4260	0.93
	12.8	1.6219	0.97

\*Para n=0: k (cm.d<sup>-1</sup>), n=1: k (d<sup>-1</sup>)

En lo que respecta a las energías de activación ( $E_A$ ), los valores más altos fueron para la degradación de consistencia ( $254.9 \text{ KJ. mol}^{-1}$ ) y el olor característico ( $225.6 \text{ KJ. mol}^{-1}$ ). Por el otro extremo, los valores más bajos fueron para la disminución del color característico ( $134.18 \text{ KJ.mol}^{-1}$ ), además del incremento en olor fermentado y pérdida de jugosidad ( $141.4 \text{ KJ. mol}^{-1}$ , en ambos). Los valores de este parámetro, marcan la dependencia de la velocidad de cambio de las variables con la temperatura (Oliveira *et al.*, 2012). En este sentido, los resultados obtenidos sugieren que, un inadecuado manejo de la temperatura durante el procesado, almacenado y/o distribución del producto, se reflejaría en la alteración de la consistencia y olor característico, principalmente. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Salinas-Hernández *et al.* (2009), en fresa fresca cortada, respecto a olor característico como uno de los atributos que podría ser alterado con mayor rapidez de acuerdo a su  $E_A$  ( $127.8 \text{ KJ.mol}^{-1}$ ), aunque el valor más alto de energía de activación, en el caso de fresas cortadas, fue para el olor extraño.

En el Cuadro 2 se muestran los valores de  $E_A$  obtenidos por los cambios analizados a las tres temperaturas del experimento y los respectivos  $R^2$  (entre 0.96 y 0.99), que indican que el modelo de Arrhenius fue adecuado para describir la dependencia de la velocidad de cambio de los atributos sensoriales de carambola mínimamente procesada con la temperatura.

**Cuadro 2. Energías de activación ( $E_A$ ) para los cambios en las características sensoriales de carambola mínimamente procesada.**

Característica	$E_A$ (KJ.mol <sup>-1</sup> )	$R^2$
Olor característico	225.6	0.99
Olor fermentado	141.4	0.99
Olor extraño	169.0	0.99
Color característico	134.2	0.96
Oscurecimiento	143.6	0.99
Sabor característico	211.5	0.97
Sabor extraño	214.3	0.99
Consistencia	254.9	0.99
Textura fibrosa	156.9	0.98
Jugosidad	141.4	0.99
Apariencia	162.4	0.99
Frescura	156.6	0.98
Brillo	192.7	0.99

En este estudio, se estimaron valores para este parámetro, relativamente muy elevados, en comparación con los observados para otros productos vegetales. Por ejemplo, Piagentini *et al.* (2004) reportaron unas  $E_A$  de 1.01, 8.27, 18.62 y 20.65 KJ. mol<sup>-1</sup>, para olor, marchitamiento, amarronamiento y apariencia general, respectivamente, en repollo fresco cortado. Para el 2005, en estos mismos atributos, pero en achicoria, lechuga Iceberg y Romana, Piagentini *et al.* estimaron unas  $E_A$  entre 92.9 y 39.6 KJ. mol<sup>-1</sup>. Posteriormente, Salinas-Hernández *et al.* (2009) mencionaron valores en este parámetro que oscilaron entre 99.1 y 131.8 KJ.mol<sup>-1</sup> para atributos sensoriales de fresas frescas cortadas. Esto sugiere que la carambola fresca cortada es un producto muy susceptible a la temperatura, por lo que un mal manejo de ésta durante el procesamiento, almacenamiento y distribución, puede afectar fuertemente las características sensoriales del producto.

En lo que respecta a la vida de anaquel, los tiempos estimados en función de la temperatura, se muestran en la Figura 3. De esta manera, se puede observar que el oscurecimiento y olor fermentado fueron los cambios limitantes.

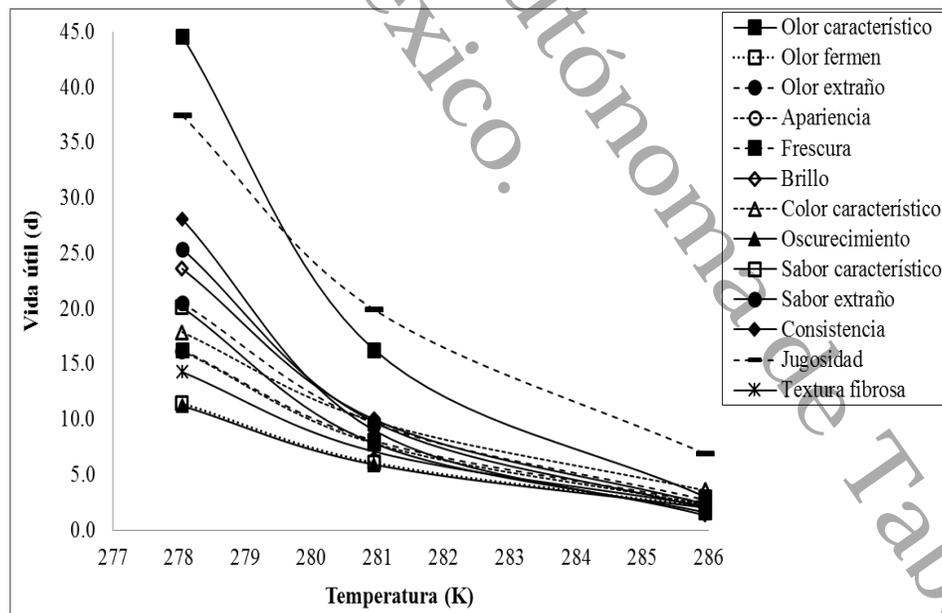


Figura 3. Vida de anaquel de carambola mínimamente procesada, estimada a partir de la constante aparente de reacción del modelo de mejor ajuste para los cambios en atributos sensoriales durante el almacenamiento a las tres temperaturas ensayadas.

Estos resultados son congruentes con lo mencionado por Andrade-Cuvi *et al.*, (2012), respecto a que el pardeamiento reduce la vida útil de carambola cortada. Del mismo modo, Teixeira *et al.* (2012) mencionaron que el oscurecimiento es la principal restricción para el uso de carambola fresca cortada. De acuerdo con Ding *et al.* (2007) y Teixeira *et al.* (2008), esta reacción es acelerada por el daño mecánico ocasionado durante el procesamiento y se asocia a la oxidación enzimática de sustratos fenólicos. Con base en los cambios limitantes identificados, la vida de anaquel de carambola mínimamente procesada, almacenada a 4.9, 7.8 y 12.8 °C, fue de 11, 6 y 2 d, respectivamente. Estos resultados enmarcan la necesidad de un estricto control de temperatura durante el procesamiento, almacenamiento y distribución de carambola mínimamente procesada.

### **CONCLUSIONES**

Los resultados indican que los modelos cinéticos de cero y primer orden pueden ser útiles para estimar los cambios en la calidad sensorial de carambola mínimamente procesada, almacenada a temperaturas en el rango de 4.9 y 12.8°C. La estimación de la vida de anaquel a partir de dichos modelos puede ser de utilidad para establecer estrategias adecuadas de manejo en la cadena de distribución. Los valores de  $E_A$  obtenidos por los cambios evaluados indican una fuerte dependencia de la velocidad de éstos con la temperatura, lo cual remarca la necesidad de un manejo adecuado de la temperatura durante el procesamiento, almacenamiento y comercialización del producto.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para realizar estudios de posgrado. A los integrantes del panel sensorial de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la UJAT por su apoyo y compromiso en las evaluaciones correspondientes a esta investigación.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Alegría, C.; Pinheiro, J.; Duthoit, M.; Goncalves, E. M.; Moldão-Martins, M.; Abreu, M. 2012. Fresh-cut carrot (cv. Nantes) quality as affected by abiotic stress (heat

- shock and UV-C irradiation) pre-treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 48: 197-203.
- Andrade-Cuvi, M. J.; Moreno-Guerrero, C.; Henriquez-Bucheli, A.; Gómez-Gordillo, A.; Concellón, A. 2010. Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11: 18-27.
- Benítez, S.; Chiumenti, M.; Sepulcre, F.; Achaerandio, I.; Pujolá, M. 2012. Modeling the effect of storage temperature on the respiration rate and texture of fresh cut pineapple. *Journal of Food Engineering*, 113: 527–533.
- Curia, A. V.; Garitta, L.; Restrepo, P.; López, C. 2005. Metodología de punto de corte. In: estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Hough, G. y Fiszman S. (Ed.). pp: 71-81. CYTED. Madrid, España.
- Ding, P.; Ahmad, S. H.; Ghazali, H. M. 2007. Changes in selected quality characteristics of minimally processed carambola (*Averrhoa carambola* L.) when treated with ascorbic acid. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 87: 702-709.
- Do Nascimento, N. M. C. 2015. Correlations between subjective quality and physicochemical attributes of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 107: 43–54.
- Finnegan, E.; O’Beirne, D. 2015. Characterising and tracking deterioration patterns of fresh-cut fruit using principal component analysis – Part I. *Postharvest Biology and Technology*, 100: 73–80.
- Francis, G. A.; Gallones, A.; Nychas, G. J.; Sofos, J. N.; Colelli, G.; Amodio, L. M. Spano, G. 2012, Factors Affecting Quality and Safety of Fresh-Cut Produce. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52: 595–610.
- García, B. C.; Chacón, V. G.; Molina, M. E. 2011. Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21: 31-38.

- James, J.; Ngarmsak, T. 2010. Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide. Bangkok, Thailand: FAO Regional Office for Asia and the Pacific. pp: 1-13.
- Musen, X.; Jianxiong, Z.; Wansheng, T. Optimal temperature control for quality of perishable foods. *ISA Transactions*, 53: 542–546.
- Oliveira, F.; Sousa-Gallagher, M. J.; Mahajan, P. V. Teixeira, J. A. 2012. Development of shelf life kinetic model for modified atmosphere packaging of fresh sliced mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 111: 466–473.
- Piagentini, A. M.; Méndez, J. C.; Güemes, D. R.; Pirovani, M. E. 2005. Modeling changes of sensory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 38: 202-212.
- Piagentini, A. M.; Pirovani, M. E.; Güemes, D. R. 2004. Cinética de deterioro de la calidad de repollo fresco cortado. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4: 169-176.
- Rangel-Marrón, M.; López-Malo, A. 2012. Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6: 94-109.
- Rathod, A.; Shoba, H.; Chidanand, D. V. 2011. A study on shelf life extension of carambola fruits. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2: 1-5.
- Robles-Sánchez, M.; Gorinstein, S.; Martín-Belloso, O.; Astiazarán-García, H. González-Aguilar, G.; Cruz-Valenzuela, R. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia*, 32: 227-232.
- Ruelas-Chacón, X.; Reyes-Vega, M.; Valdivia-Urdiales, B.; Contreras-Esquivel, J. C.; Montañez-Saenz, J. C.; Aguilera-Carbó, A. F.; Peralta-Rodríguez, R. D. 2013. Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5: 31-37.
- Ruiz-López, I. I.; Ruiz-Espinosa, H.; Herman-Lara, E.; Zárate-Castillo, G. 2011. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated

- carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. *Journal of Food Engineering*, 104: 218–226.
- Salinas-Hernández, R. M.; González-Aguilar, G. A.; Pirovani, M. E.; Ulín-Montejo, F. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia trópico húmedo*, 23: 183-197.
- Salinas-Hernández, R. M.; Pirovani, M. E.; Gardea-Béjar, A. A.; González-Aguilar, G. A. 2010. Cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de mango. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33: 215-223.
- Salinas-Hernández, R. M.; Pirovani, M. E.; Ulín-Montejo, F.; González-Aguilar, G. A. 2009. ¿Se puede predecir la vida de anaquel de un alimento? El caso de frutos mínimamente procesados. *Revista Industria Alimentaria*, 31:25-34.
- Statgraphics. 2000. Statgraphics Plus Ver.5.1 Herndon, VIR Stat Point, Inc. Manugistics, Inc. Rockville, MD, USA.
- Teixeira G. H. A. Durigan, J. F.; Alves, R. E.; O'Hare, T. J. 2008. Response of minimally processed carambola to chemical treatments and low-oxygen atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 48: 415–421.
- Teixeira G. H. A.; Durigan, J. F.; Ferraudo, A. S.; Alves, R. E.; O'Hare, T. J. 2012. Multivariate analysis of fresh-cut carambola slices stored under different temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 63: 91–97.

**CAPÍTULO III.**  
**ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE GUAYABA FRESCA CORTADA EN**  
**FUNCIÓN DE CAMBIOS SENSORIALES, FISICOQUÍMICOS Y**  
**ACEPTABILIDAD POR CONSUMIDORES**

Gladys González-González<sup>1</sup>, Rosa M. Salinas-Hernández<sup>1\*</sup>, María E. Pirovani<sup>2</sup>,  
Andrea M. Piagentini<sup>2</sup>, Fidel Ulín-Montejo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km. 25. Centro, Tabasco, MÉXICO. C.P. 86800 <sup>2</sup>Instituto de Tecnología de Alimentos. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. Santiago del Estero 2829, Santa Fe, Argentina. <sup>3</sup>División Académica de Ciencias Básicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Cunduacán-Jalpa km. 1 Colonia La Esmeralda CP. 86690. E-mail: [rosa.salinas@ujat.mx](mailto:rosa.salinas@ujat.mx), [rsalinas020@gmail.com](mailto:rsalinas020@gmail.com) Tel. (993) 3581585 (\*Autor para correspondencia).

**RESUMEN**

Frutos de guayaba fueron procesados y almacenados 4.8, 7.8 y 11.8 °C por 14, 8 y 2 d, respectivamente. Durante el almacenamiento se determinaron cambios fisicoquímicos, sensoriales y aceptabilidad por consumidores y se estimó la vida de anaquel en función de los cambios limitantes y disminución en la aceptabilidad. La cinética de deterioro y vida útil, se determinó mediante ajuste de modelos cinéticos derivados de la ecuación general de deterioro. Se consideró un 30% como límite de pérdida en los cambios fisicoquímicos y un valor de 5.0 en la escala utilizada en la evaluación sensorial. La calificación límite en la evaluación afectiva fue “ni me gusta, ni me disgusta” en la escala hedónica de nueve puntos. Los cambios en pH, C\*, h°, olor característico, apariencia, sabor característico, sabor fermentado, consistencia y jugosidad, siguieron una cinética de orden cero, mientras que las otras variables fisicoquímicas y sensoriales ajustaron al modelo de primer orden. El cambio sensorial limitante fue la consistencia y la vida útil obtenida fue de 13.2, 4.8 y 1.3 d, el cambio fisicoquímico limitante fue la firmeza y la vida de anaquel estimada de 5.2,

2.2 y 0.7 d, a las temperaturas de 4.8, 7.8 y 11.8 °C, respectivamente. Los atributos con menor aceptabilidad por los consumidores, al incrementarse el tiempo de almacenamiento, fueron sabor y textura y la vida útil de 12, 5 y 2 d, a cada temperatura, respectivamente. El mayor efecto de la temperatura se observó en la pérdida del olor característico, frescura y jugosidad.

## HIGHLIGHTS

Deterioration of firmness and texture limited the shelf-life of fresh-cut guava stored at 4-12 ° C.

The greatest effect of temperature was on characteristic odor, freshness and juiciness.

Estimated shelf-life of fresh-cut guava at temperatures of 4.8, 7.8 and 11.8 ° C, was 12, 5 and 2 d respectively.

Physico-chemical and sensory changes of fresh-cut guava fit zero and first kinetics order.

**Palabras clave:** *Psidium guajava* L.; almacenamiento refrigerado; cinética de deterioro; frutos cortados; vida útil.

## INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es uno de los principales frutos tropicales con potencial para integrarse al mercado de vegetales mínimamente procesados (VMP) debido a su apariencia, sabor, textura y calidad nutricional (Márquez y Pretell, 2013). Este sector ha tenido un importante crecimiento en los últimos años, y se atribuye a que se ofertan productos listos para el consumo, con atributos organolépticos aceptables y alto valor nutritivo, similar a los vegetales frescos recién cortados (Amodio *et al.*, 2013).

Sin embargo, las operaciones del procesamiento, desencadenan reacciones de deterioro, generando cambios que pueden ser de tipo fisicoquímicos y sensoriales tales como el ablandamiento de los tejidos y oscurecimiento enzimático y la generación de olores y sabores desagradables (Alegría *et al.*, 2012). Estos

cambios afectan fuertemente la calidad del producto, lo que se refleja en la disminución la vida útil (Francis *et al.*, 2012).

En este sentido, es fundamental identificar los principales cambios limitantes de frutos cortados durante su almacenamiento y comercialización, mediante herramientas que permitan estimar la vida de útil de los diferentes productos con potencial en el mercado de VMP. De acuerdo con Salinas-Hernández *et al.* (2009) una de estas herramientas es la predicción del deterioro y vida de anaquel, mediante la modelación cinética de los cambios en función de la temperatura y el tiempo, aplicando modelos derivados de la ecuación general de deterioro. Además, también se debe tomar en cuenta que la aceptación comercial de un producto, está definida por el consumidor (Salinas-Hernández *et al.*, 2015), por lo que éste desempeña un papel importante para determinar la vida útil del mismo. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue identificar los cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de guayaba fresca cortada, así como la aceptabilidad del producto en diferentes condiciones de almacenamiento.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Obtención de las muestras**

Los frutos de guayaba tipo 'Media China', fueron obtenidos en un centro comercial de la cadena "Comercial Mexicana" en la Ciudad de Villahermosa, Tabasco (México). Los frutos enteros fueron procesados en madurez de consumo (Firmeza de  $3.1 \pm 0.4$  N y sólidos solubles de  $12.7 \pm 0.7$  °Bx), Una vez trasladados al laboratorio de Evaluación sensorial, los frutos fueron lavados con agua potable y sanitizados por inmersión en agua clorada (200 ppm) durante 2 min para luego ser escurridos sobre toallas de papel absorbente. El corte del 60 fruto se realizó por eliminación de los extremos seguido del cortado en cuartos. El producto fue sanitizado en una solución de agua clorada (80 ppm) y los restos de la solución se eliminaron al pasar por una centrífuga doméstica para vegetales. Finalmente, el fruto cortado se colocó en recipientes de poliestireno con tapa (dos cuartos de fruta por muestra) y se almacenó a 4.8, 7.8 y 11.8 °C por 14, 8 y 2 d, respectivamente.

Este muestreo, se realizó siete veces durante el almacenamiento a cada temperatura, con la finalidad de obtener 7 muestras con diferente tiempo de almacenamiento a las temperaturas del experimento, para evaluar la cinética de deterioro. De acuerdo con Curia *et al.* (2005) se requiere de un mínimo de 6 datos para realizar un estudio cinético del deterioro de un alimento.

El criterio para la selección de temperaturas se basó en la intención de representar tres condiciones de almacenamiento a las que puede estar expuesto el producto: una cadena de frío industrial, un almacenamiento refrigerado habitual y un almacenamiento en frío con un ligero abuso de temperatura en los puntos de venta o en casa. Se realizó un registro de la temperatura de cada enfriador y se reportó la temperatura promedio a la que se encontraban las muestras durante el almacenamiento.

### **Evaluación fisicoquímica**

**Color.** Se midió por triplicado con un colorímetro Minolta Chroma Meter CR-300, mediante el sistema CIELAB, donde  $L^*$  indica luminosidad,  $a^*$  cromaticidad de verde (-) a rojo (+) y  $b^*$  cromaticidad de azul (-) a amarillo (+). Con los valores de  $a^*$  y  $b^*$  se calcularon los parámetros  $C^*$  (Croma) y  $h^\circ$  (ángulo hue).

**Firmeza.** Se determinó como la fuerza necesaria para penetrar el tejido vegetal, mediante un penetrómetro Chatillon provisto con un punzón cónico de 1.2 mm de diámetro. La evaluación se realizó con 10 repeticiones (10 trozos de fruta por muestra). El resultado se expresó en Newtons (N).

**Sólidos solubles totales (SST).** Se determinaron en el jugo obtenido de un trozo de la fruta con un refractómetro digital marca ATAGO PR-101. La determinación se reportó como  $^\circ\text{Bx}$  y se realizó con 10 repeticiones.

**Acidez titulable y pH.** Se determinaron por triplicado sobre una muestra de 10 g de pulpa homogenizada y diluida en 50 ml de agua destilada. La acidez se midió por titulación con NaOH (0.1 N), utilizando fenolftaleína (0.1 por ciento) como indicador, y se reportó como porcentaje de ácido cítrico. El pH se midió en la muestra diluida, utilizando un potenciómetro marca Hanna modelo 213.

## **Evaluación sensorial**

Prueba descriptiva cuantitativa. Previo a la evaluación de las muestras se realizó el entrenamiento de los jueces (5 hombres y 5 mujeres). Este consistió en sesiones de 30 min donde se analizaron muestras de referencia del producto 88 con diferente grado de deterioro y se generaron los términos descriptores que integraron la planilla de evaluación. El entrenamiento finalizó al cabo de 6 sesiones, cuando no se observaron diferencias significativas entre las puntuaciones de los jueces durante la valoración de las muestras de referencia.

La evaluación de las muestras del experimento se llevó a cabo en una sala para pruebas sensoriales, equipada con cabinas individuales. Las muestras se presentaron a los jueces en su envase original, previamente codificado con números aleatorios de tres cifras. Los jueces indicaron la intensidad con la que percibieron cada atributo, colocando una marca sobre una escala lineal no estructurada de 10 cm, que contaba con los términos ancla “Nulo-Intenso” para olor característico, olor extraño, olor fermentado, sabor extraño, sabor fermentado y jugosidad, y “Pobre-Óptimo” para apariencia, frescura, color característico, sabor característico y consistencia. Los datos se obtuvieron al medir la distancia (cm) desde el extremo izquierdo hasta la marca indicada por cada juez.

Prueba afectiva. Fue realizada por 40 consumidores (53% hombres y 47% mujeres, de 18 a 64 años de edad), quienes recibieron las muestras en forma aleatoria, en recipientes de poliestireno debidamente codificados. A los jueces se les solicitó evaluar en las muestras los atributos de olor, apariencia general, color, sabor, textura y aceptabilidad general, en una escala hedónica de 9 puntos, donde 9 corresponde a “me gusta muchísimo” y 1 a “me disgusta muchísimo”.

## **Cinética de cambios fisicoquímicos y sensoriales**

Para determinar la velocidad de reacción de los cambios, se utilizó la ecuación general:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = kQ^n \quad (1)$$

Donde Q: es el atributo de calidad; t: el tiempo; n: el orden de reacción; k: constante de velocidad de cambio del atributo Q. El signo (+) refiere a atributos cuyo

valor aumenta con el tiempo y el signo (-) a atributos cuyo valor disminuye con el tiempo.

Al integrar la ecuación (1), se obtienen las ecuaciones correspondientes a las cinéticas de cero y primer orden.

Si en la ecuación (1)  $n = 0$ , la reacción es de orden cero y se expresa con la siguiente ecuación:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = k \quad (2)$$

Si en la ecuación (1)  $n = 1$ , la reacción es de primer orden y su expresión correspondiente es:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = kQ \quad (3)$$

Al resolver las ecuaciones (2) y (3), se obtuvieron las expresiones correspondientes para la cinética de cero (4) y primer orden (5):

$$Q = Q_0 - kt \quad (4)$$

$$\ln \frac{Q}{Q_0} = -kt \quad (5)$$

Donde  $Q_0$ : valor inicial del atributo de calidad (cm);  $Q$ : valor del atributo en el tiempo (cm)  $t$ ;  $k$ : constante de velocidad de cambio del atributo ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$  o  $\text{d}^{-1}$ );  $t$ : tiempo (d).

La dependencia de la constante de velocidad de cambio con la temperatura, se determinó mediante la ecuación de Arrhenius:

$$k_T = k_0 \exp \left[ - \frac{E_A}{RT} \right] \quad (6)$$

Donde  $k$ : constante cinética,  $k_0$ : factor pre-exponencial,  $E_A$ : energía de activación ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ ),  $R$ : constante de los gases ideales ( $8.31447 \text{ JK}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) y  $T$ : temperatura (K).

### **Predicción de la vida de anaquel**

La vida de anaquel se estimó en función del valor límite de los cambios fisicoquímicos y sensoriales (García y Molina, 2008; García *et al.*, 2011), utilizando la ecuación siguiente:

$$Q_e = Q_0 - kt_s \quad (7)$$

Donde  $Q_0$  = valor inicial del atributo de calidad;  $Q_e$  = valor alcanzado del atributo al tiempo  $t_s$ ;  $t_s$  = tiempo final de vida de anaquel del producto;  $k$  = constante aparente de reacción.

A partir de la ecuación (7), se estimó la vida de anaquel de acuerdo con la cinética de los cambios. Para  $n = 0$ , se aplicó la ecuación (8) y para  $n = 1$ , la ecuación (9)

$$t_s = \frac{Q_0 - Q_e}{k} \quad (8)$$

$$t_s = \frac{\ln \frac{Q_0}{Q_e}}{k} \quad (9)$$

Donde  $t_s$ , = tiempo final de la vida de anaquel del producto;  $Q_0$  = valor inicial del atributo de calidad (cm);  $Q_e$  = valor alcanzado del atributo (cm) al tiempo  $t_s$ ;  $k$  = constante aparente de reacción ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$  o  $\text{d}^{-1}$ ).

El valor límite ( $Q_e$ ) para los parámetros fisicoquímicos, fue la pérdida máxima del 30%, respecto al valor inicial (Salinas-Hernández *et al.*, 2009), y para los atributos sensoriales, fue el valor medio de la escala lineal de 10 cm, es decir, un puntaje = 5.0 (Piagentini *et al.*, 2005).

La vida de anaquel se estimó también en función de la disminución en la aceptabilidad del producto por parte de los consumidores. En este caso, el valor límite de aceptabilidad fue la calificación de 5.0, correspondiente a “ni me gusta, ni me disgusta”, en la escala hedónica de nueve puntos (Voon *et al.*, 2006).

### **Análisis estadístico**

Los datos correspondientes a los cambios fisicoquímicos y sensoriales, se analizaron mediante regresión lineal simple, utilizando el software STATGRAPHICS Plus (Manugistics, Inc. Rockville, MD, USA). La estimación de los parámetros correspondientes al modelo de mejor ajuste se realizó con un nivel de confiabilidad del 95%. Así se determinó el ajuste de la tasa de cambio de las variables evaluadas, en función de la temperatura y tiempo de almacenamiento, a modelos cinéticos derivados de la ecuación general de deterioro (1), con base en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), obtenido por regresión lineal simple con los datos experimentales.

A partir de las constantes cinéticas ( $k$ ), del modelo más adecuado, se estimó la energía de activación ( $E_A$ ) para cada variable evaluada, mediante la ecuación de Arrhenius.

Los datos de aceptabilidad por consumidores se analizaron mediante estadística descriptiva para obtener la aceptabilidad promedio de cada atributo de las muestras, en las diferentes condiciones de almacenamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cambios fisicoquímicos

Todas las variables fisicoquímicas evaluadas disminuyeron al incrementarse el tiempo y la temperatura de almacenamiento. Sin embargo, la firmeza fue la que más disminuyó, entre 68.6 y 71.0%, a las tres temperaturas, seguida por acidez titulable, aunque con un porcentaje considerablemente menor (17.3-26.9%). La pérdida de firmeza en frutos cortados, se asocia al rompimiento de los tejidos celulares durante el procesado, que induce al ablandamiento y acelera el proceso de deterioro (Toivonen y Brummell, 2008; Lana *et al.*, 2005). Este cambio fue observado por Fundo *et al.* (2015) como principal síntoma de deterioro de la calidad de melón fresco cortado, almacenado por 7 d a 5 °C. Así mismo, Oliveira *et al.* (2012) indicaron que la pérdida de firmeza es un parámetro crítico de la calidad de champiñones cortados en rodajas y almacenados en bandejas cubiertas con películas de celofán, durante 7 días a 0, 5, 10 y 15 °C.

Los parámetros de color  $L^*$  (luminosidad) y  $C^*$  (intensidad), ocuparon el tercer lugar, en cuanto al grado de disminución, con 20.7 a 23.6% y 20.5 a 25.3%, respectivamente. Mientras tanto, el contenido de sólidos solubles decreció entre 9.0 y 10.9%, seguido muy de cerca por el ángulo  $h^\circ$  (color verdadero), que disminuyó entre un 8.2 y 9.4%. En relación a estos cambios, Teixeira *et al.*, 2008 y De Almeida *et al.*, 2006, mencionaron que el decremento en los parámetros  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^\circ$ , indica la degradación de los pigmentos del fruto (clorofila) como parte del proceso fisiológico natural del mismo, lo que desencadena el oscurecimiento. Los frutos también pueden sufrir alteraciones en la coloración a consecuencia de “daño por frío”, que ocurre si el fruto se expone a temperaturas por debajo del umbral de

tolerancia, que pueden ser por encima de la congelación o por debajo de 10 °C (Hashim *et al.*, 2012).

En cuanto a la disminución de acidez titulable (mencionada inicialmente) y del contenido de sólidos solubles, Rangel-Marrón y López-Malo. (2012) mencionaron que está asociada con las reacciones enzimáticas que se aceleran por el daño físico durante el procesamiento, generando cambios en el sabor.

Finalmente, la variable que menos se modificó, durante el almacenamiento, fue el pH con un porcentaje de cambio entre 2.6 y 3.5% a las tres temperaturas de ensayo. Este comportamiento también fue observado por Rojas *et al.* (2008) en sandía mínimamente procesada almacenada a 4 °C en atmósfera modificada.

### **Cambios sensoriales**

Los resultados de la prueba descriptiva cuantitativa, indicaron que conforme se incrementó el tiempo y temperatura de almacenamiento, disminuyeron los atributos de apariencia (30.1-47.6%), frescura (24.1-45.6%), olor característico (23.8-25.1%), color característico (22.1-44.7%), sabor característico (26.5-51.0%), consistencia (36.5-54.4%) y jugosidad (13.3-28.3%). Además, aumentaron los defectos como el olor extraño (37.3-53.4%), olor fermentado (35.5-48.9), sabor extraño (54.6-61.6%) y sabor fermentado (49.1-63.8%).

Los atributos que más disminuyeron fueron consistencia y sabor característico, mientras que los defectos que más aumentaron fueron el sabor extraño y sabor fermentado. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en la evaluación fisicoquímica de las muestras. Además, según Francis *et al.* (2012) las alteraciones de sabor y la pérdida de firmeza, debido a la destrucción de las células del tejido durante el corte, están dentro de los principales cambios de frutos frescos cortados.

En cuanto a la prueba afectiva, las muestras almacenadas a 4.8 °C obtuvieron calificaciones menores al límite establecido, luego de 12 días, en todos los atributos evaluados. El producto almacenado a 7.8 °C, obtuvo puntuaciones entre 4.8 y 5.0 a partir del sexto día de almacenamiento en los atributos de olor, sabor, textura y aceptabilidad general. Esta calificación corresponde a “ni me gusta, ni me disgusta”, en la escala hedónica de nueve puntos. En las muestras almacenadas a 11.8 °C,

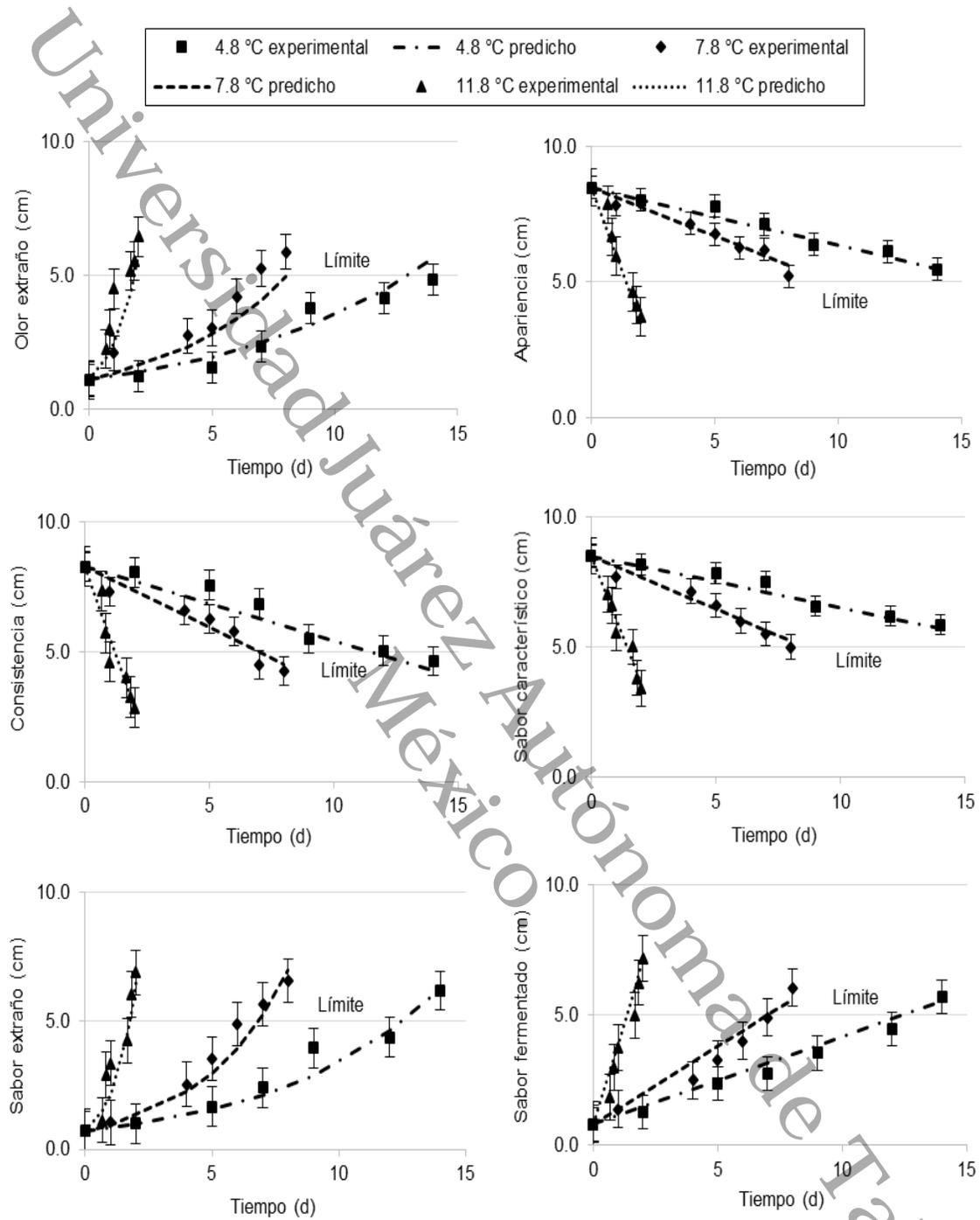
los atributos de textura sabor y aceptabilidad general obtuvieron puntuaciones promedio entre 5.2 y 6.1, por encima del valor límite establecido. Esto indica que las muestras estaban dentro del rango de aceptabilidad, después de 2 d de almacenamiento a esta temperatura.

Los resultados en esta última prueba, respecto a las características organolépticas evaluadas, muestran que los principales atributos que se alteraron y que definieron la aceptabilidad en este producto, fueron el sabor y la textura. Estos resultados, son congruentes con los obtenidos, tanto en la evaluación fisicoquímica como en la prueba sensorial descriptiva, en relación a la textura como variable limitante. Además, los resultados también coinciden con lo mencionado por Lucera *et al.* (2011) quienes afirmaron que la firmeza es de los principales factores que determina la aceptabilidad de los productos frescos cortados.

### **Cinética de cambios fisicoquímicos y sensoriales**

Los cambios ocurridos en firmeza, sólidos solubles, acidez titulable, L\*, olor extraño, olor fermentado, frescura, color característico y sabor extraño seguían una cinética de primer orden, mientras que los cambios en el resto de las variables, correspondían a cinéticas de orden cero. Estos resultados corresponden con los obtenidos en estudios previos, donde se ha comprobado que los cambios fisicoquímicos y sensoriales, de productos vegetales mínimamente procesados, comúnmente siguen cinéticas de cero y primer orden (Sothornvit y Kiatchanapaibul, 2009; Salinas-Hernández *et al.*, 2010; Benítez *et al.*, 2012; Amodio *et al.*, 2013).

En las Figuras 1 y 2, se representaron las tendencias de los valores experimentales y los obtenidos mediante los modelos de predicción, para cada una de las variables evaluadas. Al observar el comportamiento de ambos, se puede confirmar que los modelos cinéticos de cero y primer orden, fueron adecuados para describir los cambios en la calidad fisicoquímica y sensorial de guayaba fresca cortada, especialmente la disminución en apariencia y sabor característico, seguidos del aumento de sabor fermentado y extraño, donde se obtuvieron los coeficientes de determinación más altos ( $R^2= 0.78-0.98$ )



**FIGURA 1. Valores experimentales y predichos de atributos sensoriales de guayaba fresca cortada, almacenada en refrigeración.**

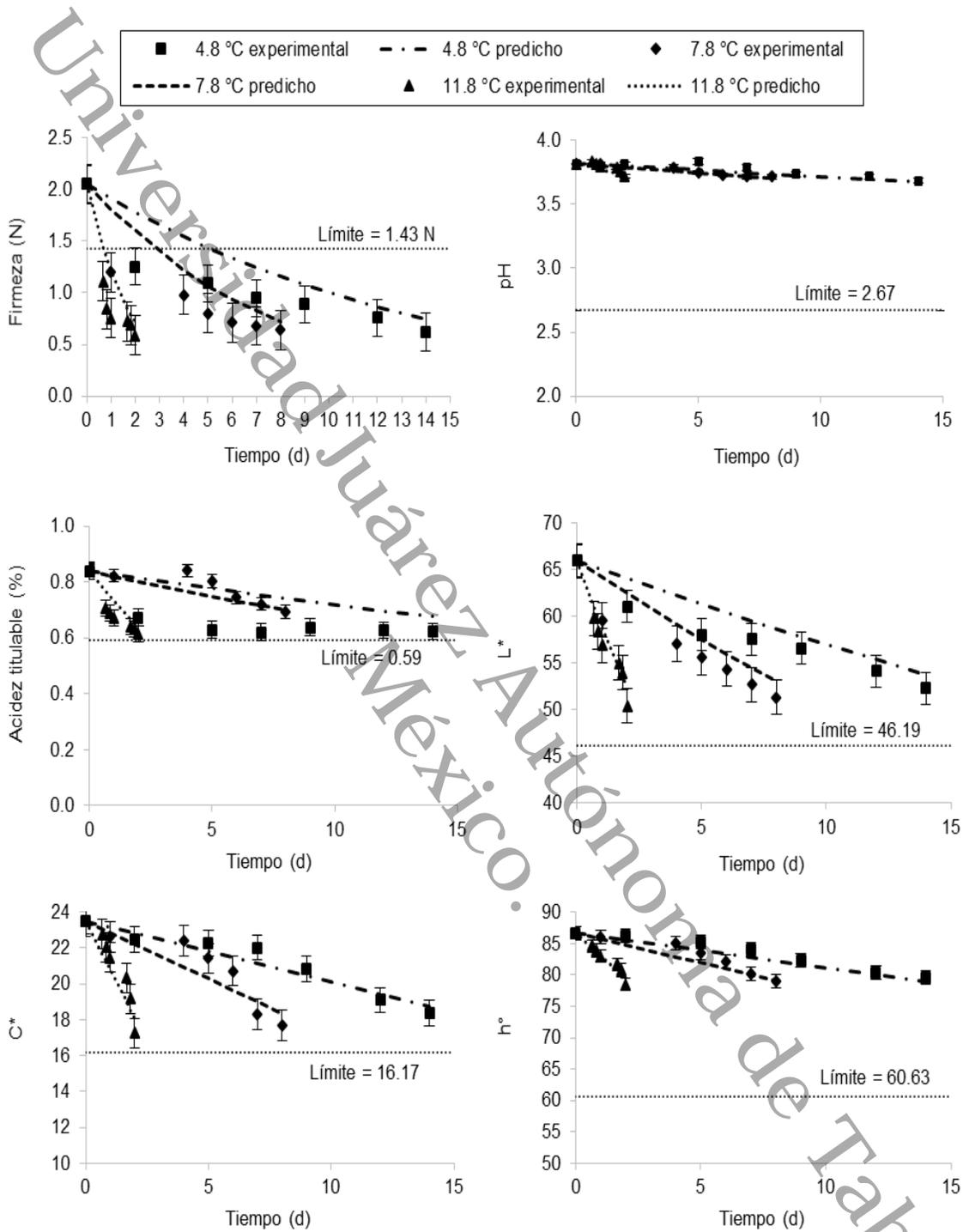


FIGURA 2. Valores experimentales y predichos de parámetros fisicoquímicos de guayaba fresca cortada, almacenada en refrigeración.

En el Cuadros 1, se muestra el orden cinético que seguían los cambios fisicoquímicos, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), tomado como criterio para la selección del modelo y la constante de velocidad de reacción (k), correspondiente al modelo mejor ajustado.

**Cuadro 1. Orden cinético, constante aparente de reacción del mejor modelo ajustado y energía de activación de cambios fisicoquímicos en guayaba fresca cortada.**

Atributo y orden de reacción	Temperatura °C	Constante de reacción (K)	* $R^2$	$E_A$ (KJ.mol <sup>-1</sup> )	** $R^2$
Firmeza n=1	4.8	0.0719	0.92	189.1	0.98
	7.8	0.1306	0.90		
	11.8	0.5257	0.83		
Sólidos solubles n=1	4.8	0.0084	0.57	162.4	0.92
	7.8	0.0112	0.36		
	11.8	0.0455	0.34		
pH n=0	4.8	0.0104	0.85	144.5	0.95
	7.8	0.0146	0.94		
	11.8	0.0471	0.75		
Acidez titulable n=1	4.8	0.0154	0.52	209.8	0.92
	7.8	0.0227	0.75		
	11.8	0.1368	0.90		
L* n=1	4.8	0.0146	0.94	195.7	0.98
	7.8	0.0273	0.93		
	11.8	0.1145	0.94		
C* n=0	4.8	0.3396	0.91	196.8	0.98
	7.8	0.6420	0.80		
	11.8	2.6948	0.86		
h° n=0	4.8	0.5467	0.98	179.8	0.97
	7.8	0.9357	0.90		
	11.8	3.6154	0.94		

\* $R^2$ : coeficiente de determinación de la regresión lineal de k en función del tiempo; \*\* $R^2$ : coeficiente de determinación de la regresión lineal de ln k en función del inverso de la temperatura (K).

En el Cuadro 1, también se indican las energías de activación ( $E_A$ ) que se obtuvieron para los cambios en los parámetros fisicoquímicos. De esta manera se puede observar que la disminución de acidez y pH, obtuvieron el valor más alto y más bajo, respectivamente. Por lo tanto, la acidez fue la variable más afectada por la temperatura, mientras que el pH mostró menor variación por efecto de ésta (Oliveira *et al.*, 2012).

En el Cuadro 2, se muestra el orden cinético al que correspondían los cambios en las características sensoriales de guayaba fresca cortada, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la correspondiente constante de velocidad de reacción (k).

**Cuadro 2. Orden cinético, constante aparente de reacción del mejor modelo ajustado y energía de activación de los cambios sensoriales en guayaba fresca cortada.**

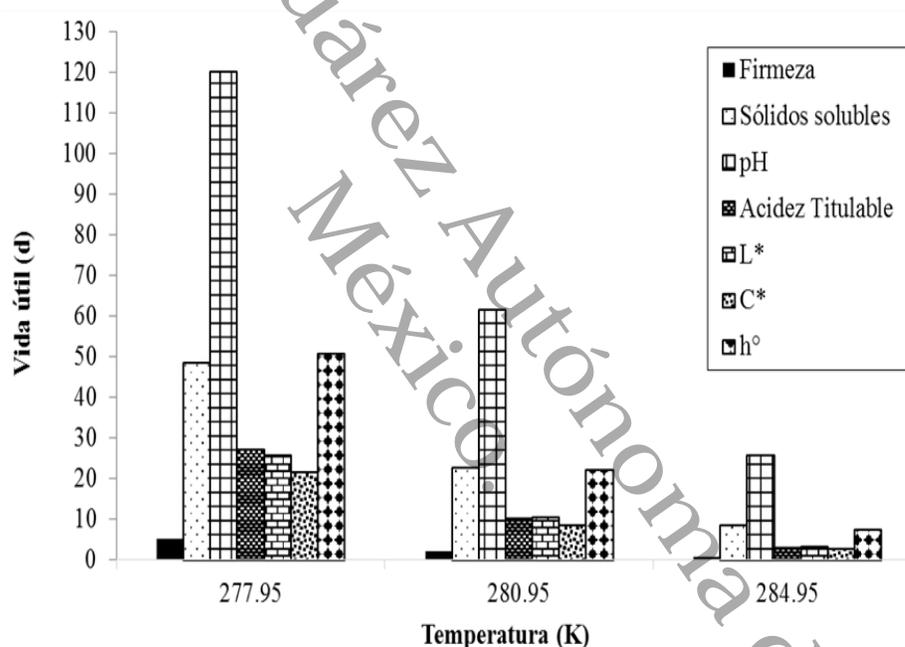
Atributo y orden de reacción	Temperatura °C	*Constante de reacción (K)	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	E <sub>A</sub> (KJ.mol <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup> <sub>b</sub>
Olor característico n=0	4.8	0.1738	0.97	196.0	0.97
	7.8	0.3045	0.87		
	11.8	1.3585	0.78		
Olor extraño n=1	4.8	0.1167	0.95	186.9	0.96
	7.8	0.1877	0.94		
	11.8	0.8251	0.91		
Olor fermentado n=1	4.8	0.1059	0.96	187.3	0.95
	7.8	0.1698	0.93		
	11.8	0.7519	0.92		
Apariencia n=0	4.8	0.2142	0.97	235.8	0.94
	7.8	0.3584	0.96		
	11.8	2.5109	0.96		
Frescura n=1	4.8	0.0242	0.98	258.2	0.98
	7.8	0.0573	0.94		
	11.8	0.3673	0.89		
Color característico n=1	4.8	0.0235	0.97	261.4	0.96
	7.8	0.0463	0.95		
	11.8	0.3628	0.82		
Sabor característico n=0	4.8	0.1986	0.97	239.7	0.97
	7.8	0.4088	0.97		
	11.8	2.4653	0.96		
Sabor extraño n=1	4.8	0.1551	0.98	186.8	0.98
	7.8	0.2849	0.98		
	11.8	1.1084	0.89		
Sabor fermentado n=0	4.8	0.3379	0.98	212.7	0.96
	7.8	0.6004	0.89		
	11.8	3.1385	0.96		
Consistencia n=0	4.8	0.2442	0.94	216.9	0.95
	7.8	0.4050	0.95		
	11.8	2.4629	0.95		
Jugosidad n=0	4.8	0.1690	0.96	253.0	0.98
	7.8	0.2007	0.93		
	11.8	1.5193	0.90		

\* Para n = 0: k (cm.d<sup>-1</sup>), n=1: k (d<sup>-1</sup>); R<sup>2</sup><sub>a</sub>: coeficiente de determinación de la regresión lineal de k en función del tiempo; R<sup>2</sup><sub>b</sub>: coeficiente de determinación de la regresión lineal de ln k en función del inverso de la temperatura (K).

En el Cuadro 2, se puede observar que la relación entre las constantes de reacción (k) y la temperatura, mostró coeficientes de determinación entre 0.92 y 0.98. Esto, demuestra que el modelo de Arrhenius fue adecuado para describir la dependencia de las constantes cinéticas de los cambios con la temperatura.

### Vida de útil

En la Figura 3, se muestra la vida útil de guayaba fresca cortada, en función de la pérdida de sus características fisicoquímicas. Como se puede observar, la pérdida de firmeza fue el cambio limitante. Por lo tanto, La vida útil a partir de la disminución de firmeza fue de 5.2, 2.2 y 0.7 d, a 4.8, 7.8 y 11.8 °C, respectivamente.



**FIGURA 3.** Vida útil de guayaba fresca cortada estimada en función de la pérdida de la calidad fisicoquímica.

La pérdida de firmeza en función de la temperatura, fue usada también por Oliveira *et al.* (2012) como un parámetro para determinar la vida útil champiñones frescos rebanados, almacenados a 0, 5, 10 y 15 °C durante 7 d.

La vida útil desde el punto de vista sensorial, fue limitada por la disminución en consistencia, tal como lo muestra la Figura 4. Lo que es consistente con la pérdida de firmeza, medida instrumentalmente. En este sentido, la vida útil sensorial, se estimó en 13.2, 4.8 y 1.3 d, con base en la disminución de consistencia.

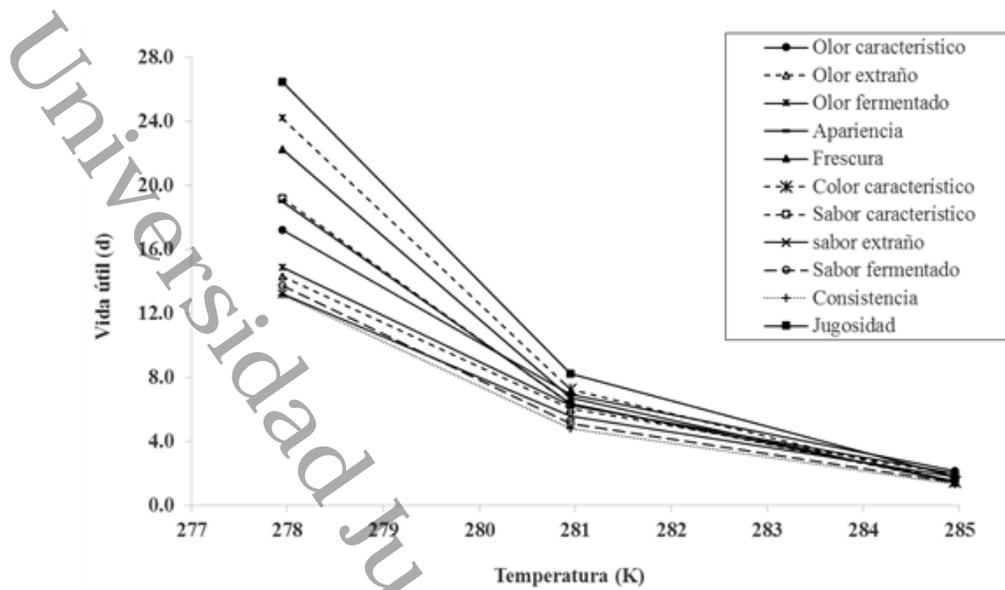


FIGURA 4. Vida útil de guayaba fresca cortada con base en la intensidad de sus atributos sensoriales.

Finalmente, con base en la aceptabilidad por consumidores, la vida de anaquel fue de 12, 5 y 2 d, aproximadamente, para cada temperatura de almacenamiento, respectivamente. En este último caso, el sabor y la textura, fueron los atributos limitantes (Figuras 5, 6 y 7).

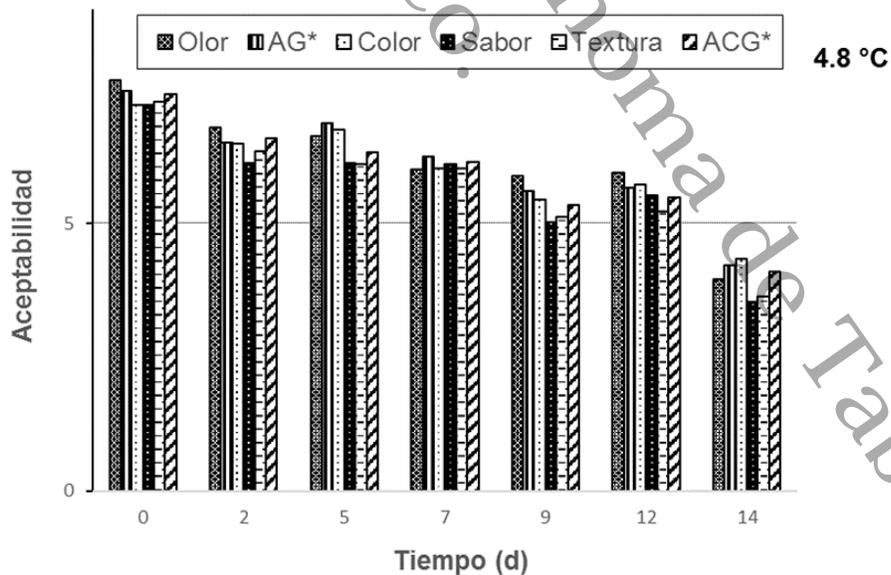
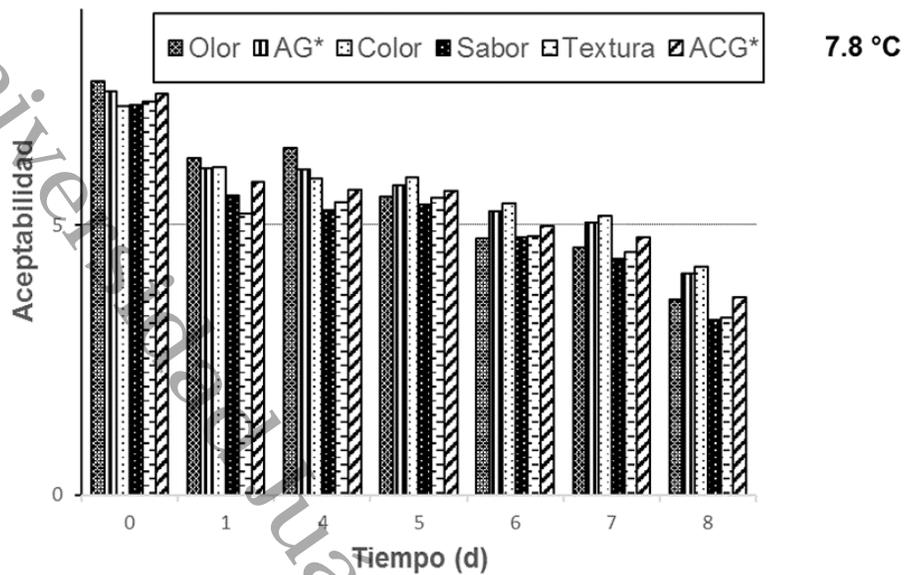
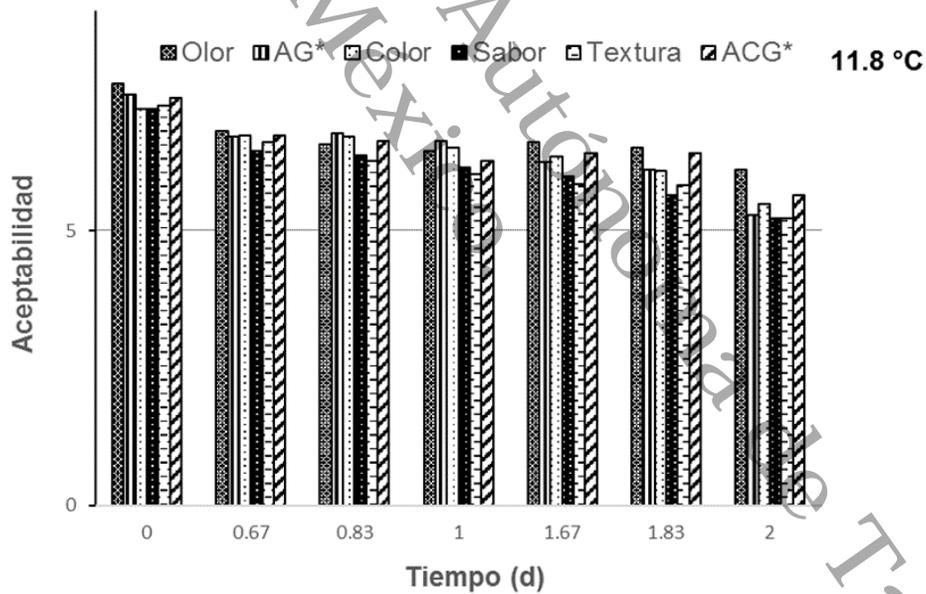


FIGURA 5. Aceptabilidad de los consumidores para guayaba fresca cortada almacenada a 4.8 °C por 14 d.



**FIGURA 6.** Aceptabilidad de los consumidores para guayaba fresca cortada almacenada a 7.8 °C por 8 d.



**FIGURA 7.** Aceptabilidad de los consumidores para guayaba fresca cortada almacenada a 11.8 °C por 2 d.

Los resultados obtenidos a partir de los modelos predictivos, correspondientes a los cambios sensoriales y fisicoquímicos, son consistentes con los observados en los cambios de la aceptabilidad por consumidores, es decir, en todos los casos se

observa que es la textura, la firmeza y la consistencia, la característica limitante de la vida de anaquel. Esto concuerda con lo mencionado por Lana *et al.* (2005) respecto a que la excesiva pérdida de textura es uno de los principales factores que limita la vida útil de los tejidos frescos cortados.

La vida de anaquel estimada a partir de la evaluación descriptiva, es consistente con la obtenida en base a la aceptabilidad por consumidores, lo que puede estar relacionado con el hecho de que, en ambas metodologías interviene la percepción humana como herramienta de análisis.

Es de notar que la vida de anaquel, estimada a partir de los cambios fisicoquímicos, es relativamente más corta. Al respecto, Fiszman y Salvador (2005) mencionaron que, en el caso de la textura, las percepciones sensoriales no guardan una relación directa con las mediciones instrumentales. Esto debido, entre otras cosas, a que las fuerzas que se ejercen durante la masticación, no son uniformemente distribuidas en el trozo de alimento. Sin embargo, es la percepción sensorial y por tanto el consumidor quien tiene la decisión de compra y determina la vida de anaquel del producto (Hough & Wittig, 2005). Por lo tanto, se puede establecer que la vida de anaquel de guayaba fresca cortada, en las diferentes temperaturas, corresponde a la obtenida en la evaluación sensorial del producto y está determinada por la pérdida de textura.

## CONCLUSIONES

La vida de anaquel estimada a partir de cambios fisicoquímicos y de la evaluación sensorial, tanto afectiva como descriptiva, para guayaba fresca cortada, indicó que la disminución en firmeza y textura fueron los cambios limitantes, independientemente de la temperatura de almacenamiento. El mayor efecto de la temperatura se observó sobre la pérdida del olor característico, frescura y jugosidad, mientras que el menor efecto fue sobre pH y sólidos solubles. Esto indica la necesidad de buscar estrategias para conservar el olor característico de la guayaba, como uno de los principales atractivos de este producto para el consumidor.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para realizar estudios de posgrado. A los integrantes del panel sensorial de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la UJAT por su apoyo y compromiso en las evaluaciones correspondientes a esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Alegría, C.; Pinheiro, J.; Duthoit, M.; Gonçalves, E. M.; Moldão-Martins, M.; Abreu, M. 2012. Fresh-cut carrot (cv. Nantes) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pre-treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 48: 197-203.
- Amodio, M. L.; Derossi, A.; Colelli, G. 2013. Modelling sensorial and nutritional changes to better define quality and shelf life of fresh-cut melons. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(6): 38-45.
- Benítez, S.; Chiumenti, M.; Sepulcre, F.; Achaerandio, I.; Pujolá, M. 2012. Modeling the effect of storage temperature on the respiration rate and texture of fresh cut pineapple. *Journal of Food Engineering*, 113: 527–533.
- Curia A. V.; Garitta, L.; Restrepo, P.; López, C. 2005. Metodología de punto de corte. In: estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Hough, G. y Fiszman S. (Ed.). pp: 71-81. CYTED. Madrid, España.
- De Almeida, T. G. H.; Durigan, J. F.; Mattiuz, Ben-Hur.; Elesbão, A. R.; O'Hare, J. T. 2006. Cultivar affects browning susceptibility of freshly cut star fruit slices. *Agricultural Sciences*, 63:1-4.
- Fiszman, S. M.; Salvador, A. 2005. Las medidas de algunas propiedades físicas de los alimentos y su correlación con las medidas sensoriales. In: estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Hough, G. y Fiszman S. (Ed.). pp: 97-111. CYTED. Madrid, España.
- Fundo, J. F. ; Amaro, A. L.; Madureira, A. R.; Carvalho, A.; Feio, G.; Silva, C. L. M.; Quintas A. C. 2015. Fresh-cut melon quality during storage: An NMR study of water transverse relaxation time. *Journal of Food Engineering* ,167: 71–76.

- García, B. C., Chacón, V. G., & Molina, C. M. E. (2011). Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21 (2), 31-38.
- García, B. C.; Molina C. M. E. 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. *Ingeniería*, 18(1,2), 57-64.
- Hashim, N.; Janius, R. B.; Baranyai, L.; Rahman, R. A.; Osman, A.; Zude, M. Kinetic Model for Colour Changes in Bananas During the Appearance of Chilling Injury Symptoms. 2012. *Food Bioprocess Technol*, 5: 2952–2963.
- Hough, G., & Witting, E. (2005). Introducción al análisis sensorial. In: Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Hough, G. y Fiszman S. (Ed). pp: 13-16. CYTED. Madrid, España.
- Lana, M. M., Tijksens, L. M. M., & Kooten, O. V. (2005). Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 35, 87–95.
- Lucera, A.; Costa, C.; Mastromatteo, M.; Conte, A.; Del Nobile, M.A. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties. *Journal of Food Engineering*, 102: 122–129.
- Márquez, V. L., & Pretell, V. C. (2013). Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas. *Scientia Agropecuaria*, 4(1), 147-161.
- Oliveira, F.; Sousa-Gallagher, M. J.; Mahajan, P. V. Teixeira, J. A. 2012. Development of shelf life kinetic model for modified atmosphere packaging of fresh sliced mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 111: 466–473.
- Piagentini, A. M., Pirovani, M. E., & Güemes, D.R. (2004). Cinética de deterioro de la calidad de repollo fresco cortado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4(3), 169-176.
- Piagentini, M. A., Méndez, J. C. Guemes, D. R., & Pirovani., M. E. (2005). Modeling changes of sensory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 38, 202-212.
- Rangel-Marrón, M., & López-Malo A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas selectos de ingeniería de alimento*, 6(2), 94-109.

- Rojas, A. M. R., Vargas y Vargas, L., & Tamayo, C. J. A. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9, 153-161. Obtenido en:
- Salinas-Hernández, R. M., M.E. Pirovani, A. A. Gardea-Béjar, and G.A. González-Aguilar. 2010. Cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de mango. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3), 215-223.
- Salinas-Hernández, R. M., Pirovani, M. E., Ulín-Montejo, F., & González-Aguilar, G. A. (2009). ¿Se puede predecir la vida de anaquel de un alimento? El caso de frutos mínimamente procesados. *Revista Industria Alimentaria*, 31, 25-34.
- Salinas-Hernández, R. M.; González-Aguilar, G. A.; Tiznado-Hernández, M. E. 2015. Utilization of physicochemical variables developed from changes in sensory attributes and consumer acceptability to predict the shelf life of fresh-cut mango fruit. *J Food Sci Technol*, 52(1): 63–77.
- Statgraphics. 2000. Statgraphics Plus Ver.5.1 Herndon, VIR Stat Point, Inc. Manugistics, Inc. Rockville, MD, USA.
- Teixeira G. H. A., Durigan, J. F., Alves, R. E., & O'Hare, T. J. (2008). Response of minimally processed carambola to chemical treatments and low-oxygen atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 48, 415–421.
- Toivonen, P. M. A., & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 48, 1-14.
- Voon, Y. Y., Abdul, H. N. S., Rusul, G., Osman, A., & Quek, S. Y. (2006), Physicochemical, microbial and sensory changes of minimally processed durian (*Durio zibethinus* cv. D24) during storage at 4 and 28 °C. *Postharvest Biology and Technology*, 42, 168-175.

## V. CONCLUSIONES GENERALES

Todas las variables evaluadas en frutos de rambután, carambola y guayaba mínimamente procesados (físicoquímicas y sensoriales), mostraron cambios en función del tiempo y temperatura de almacenamiento. Por lo tanto, estas pueden ser establecidas como indicadores para determinar la pérdida de calidad en estos tres frutos, durante el almacenamiento.

Los modelos cinéticos de deterioro de cero y primer orden mostraron ser adecuados para estimar los cambios en la calidad físicoquímica y sensorial de estos tres frutos e identificar aquellos que podrían limitar su vida de anaquel en las diferentes condiciones de almacenamiento.

La estimación de vida de anaquel a partir de estos modelos, constituye una herramienta que podría ser útil para establecer estrategias de conservación para estos productos, durante el almacenamiento y comercialización.

Los valores de  $E_A$  obtenidos por los cambios evaluados en frutos de rambután, carambola y guayaba mínimamente procesados, indican que existe una fuerte dependencia de la velocidad de estos con la temperatura. Lo anterior, resalta la necesidad de un control adecuado de la temperatura durante el procesamiento, almacenamiento y comercialización de estos tres productos.

## VI. ANEXOS

### 6.1. Anexo 1. Portada de artículo “Kinetic parameters of changes in sensory characteristics of minimally processed rambutan. Publicado en International Journal of Fruit Science.

INTERNATIONAL JOURNAL OF FRUIT SCIENCE  
<http://dx.doi.org/10.1080/1558862.2015.1087360>



#### Kinetic Parameters of Changes in Sensory Characteristics of Minimally Processed Rambutan

Gladys González González<sup>a</sup>, Rosa Ma. Salinas Hernández<sup>a</sup>,  
Andrea Marcela Piagentini<sup>b</sup>, Fidel Ulín Montejó<sup>c</sup>, Edith Miranda Cruz<sup>a</sup>,  
and María Élda Pirovani<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-DACA, Villa Hermosa, Tabasco, Mexico; <sup>b</sup>Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina; <sup>c</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-DACB, Villa Hermosa, Tabasco, Mexico

##### ABSTRACT

The aim of this work was to develop kinetic models to describe the sensory changes of minimally processed rambutan. Quality was assessed by a trained panel. The attributes that most decreased were freshness, aroma, and appearance (17–38%), and the defects that were more increased were off-odors and off-flavors (28–67%). Although whole fruit is sensitive to chilling injury, minimally processed rambutan is preserved better at 4.6 °C. Color, sweetness, and off-odor changes were adjusted to first-order kinetic and the other characteristics to zero order. Sourness, aroma, and color have higher activation energies (235–297.4 KJ mol<sup>-1</sup>), and these characteristics would change faster if failure in the cold chain occurs.

##### KEYWORDS

Minimal processing; tropical fruit; kinetics; sensory changes

#### Introduction

Minimal processing can be defined as the handling preparation, packaging, and distribution of agricultural commodities in a fresh-like state, and may include processes, such as trimming, pre-washing, peeling, washing-disinfection, dicing, slicing, and so on. The market of minimally processed fruits and vegetables shows significant growth in the food industry based on changes in eating habits of consumers, mainly in the U.S., Europe, Asia, and other developing countries (Andrade-Cuvi et al., 2010). From the 1980s and 1990s a continuous innovation and improvement of the distribution channels were developed in this food chain (James and Ngamsak, 2010). This has allowed the introduction of these products in sectors, such as hotels, restaurants, supermarkets, and other institutions offering fast food (Montero-Calderón et al., 2009).

Currently, there is interest in incorporating fruits of tropical origin to the market of minimally processed vegetable products. The rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) is one of these fruits that has potential to join this market. This fruit belongs to the Sapindaceae family and has its origins

CONTACT María Élda Pirovani [mpirovan@quimica.unl.edu.ar](mailto:mpirovan@quimica.unl.edu.ar) Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829, Santa Fe, Argentina (PC3000).

© 2015 Taylor & Francis

6.2. Anexo 2. Carta de recepción de artículo “Cinética de cambios sensoriales y vida de anaquel de carambola mínimamente procesada”. Enviado a Revista Fitotecnia Mexicana.



CARTA DE RECEPCIÓN

27 de Octubre del 2015

**DRA. ROSA M. SALINAS HERNÁNDEZ**  
DIVISION ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS,  
UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO,  
KM 25 CARRETERA VILLAHERMOSA-TEAPA. 86000  
CENTRO. TABASCO, MEXICO

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la "REVISTA FITOTECNIA MEXICANA", intitulado:

**CINÉTICA DE CAMBIOS SENSORIALES Y VIDA DE ANAQUEL DE CARAMBOLA  
MÍNIMAMENTE PROCESADA**

**Autores: GLADYS GONZÁLEZ GONZÁLEZ, MARÍA E. PIROVANI, ANDREA M. PIAGENTINI,  
FIDEL ULÍN MONTEJO, EDITH MIRANDA CRUZ, RODOLFO OSORIO OSORIO, EMILIO J.  
MALDONADO ENRÍQUEZ, ROSA M. SALINAS HERNÁNDEZ\*.**

Para su evaluación, el manuscrito con clave: R2015090 será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto como esté disponible.

Para que este Comité pueda iniciar dicho proceso es requisito indispensable que nos regrese la forma anexa, debidamente contestada.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio de domicilio y que nos proporcione su número telefónico, y correo electrónico

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Víctor A. González Hernández  
Director de la RFM

**6.3. Anexo 3. Notificación de recepción de artículo “Estimación de la vida útil de guayaba fresca cortada en función de cambios sensoriales, fisicoquímicos y aceptabilidad por consumidores”. Enviado a Revista Chapingo Serie Horticultura.**



# Cinética de deterioro y vida de anaquel de tres frutos tropicales mínimamente procesados

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

0%

ÍNDICE DE SIMILITUD

---

FUENTES PRIMARIAS

---

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 18 PALABRAS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.