

# ESTUDIO DE LA VIDA ÚTIL DE JAMÓN DE CERDO MEDIANTE

## PRUEBAS ACELERADAS

Luis Enrique Guzmán Carrillo, Diana Paola Martínez Duque, Dario Enrique Martínez Zuluaga, Diofanor Acevedo y Piedad Margarita Montero

### RESUMEN

En la industria de los alimentos se requiere conocer la vida útil de los productos para asegurar a los consumidores finales que el alimento adquirido mantiene todas sus características en buen estado. En el presente trabajo se estudió la cinética de deterioro de jamón de cerdo mediante pruebas aceleradas, empleando el índice de peróxidos como indicador de deterioro. El producto se almacenó a 5, 15 y 30°C durante 36h y se le deter-

minó índice de peróxido según ISO 3960. La cinética de la reacción se asumió de orden cero y las constantes cinéticas encontradas fueron 0,79; 0,90 y 1,08 meqO<sub>2</sub>/kg·h, en orden creciente de temperatura. El aumento del índice de peróxido en función del tiempo en el jamón de cerdo exhibe una cinética de orden cero, una energía de activación de 8,4kJ·mol<sup>-1</sup> con relación a la temperatura de almacenamiento y un factor Q<sub>10</sub> de 1,15.

### Introducción

La industria de alimentos tiene la necesidad de obtener, en un tiempo relativamente corto, la información necesaria para determinar la vida útil de sus productos (Nuñez, 2011; Robertson, 2012; Min y Seok, 2014; Qi *et al.*, 2014). Aunque las pruebas de vida útil a tiempo real brindan buenos datos, presentan el problema que en algunas ocasiones requieren un tiempo muy prolongado para la obtención del resultado final (Ramachandra y Rao, 2013; Dak *et al.*, 2014; Udomkun *et al.*, 2016). Lo anterior puede no ser práctico para la empresa o investigador, ya que todo este proceso se ve reflejado en mayores tiempos y gastos asociados (Vaidya y Eun, 2013; Ocheme *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2015). Por

ello, los estudios de pruebas aceleradas se muestran como una solución rentable y eficaz en la determinación del tiempo de vida útil de un producto (Kebede *et al.*, 2015), ya que estas técnicas acortan considerablemente el proceso para obtener los datos experimentales necesarios. Por lo tanto, los estudios o pruebas de almacenamiento o vida útil acelerados (ASLT, del inglés *accelerated shelf-life testing*) se refieren a cualquier método que sea capaz de evaluar la estabilidad del producto con base en los datos que se obtienen en un período de tiempo significativamente más corto que el período de vida útil real del producto (Rao *et al.*, 2012; Derossi *et al.*, 2016).

En general, las cinéticas de orden cero, primer y segundo orden se han utilizado con-

vencionalmente para estudiar las reacciones de degradación en productos alimenticios frescos y procesados (Odrizola-Serrano *et al.*, 2009; Sothornvit y Kiatchanapaibul, 2009; Amodio *et al.*, 2015). Las de orden cero son de las más usadas debido a su fácil manejo y la mayoría de las veces otorgan buenos resultados (Amodio *et al.*, 2015). En algunas investigaciones se opta por encontrar la velocidad de degradación (k) a diferentes temperaturas de almacenamiento, prueba a la que se le llama de almacenamiento acelerado (Amodio *et al.*, 2015). Para estas, se ha utilizado tradicionalmente el modelo de Arrhenius para describir la dependencia de la temperatura a través de la energía de activación (E<sub>a</sub>) de la reacción (Sothornvit y Kiatchanapaibul, 2009; Amodio *et al.*, 2015).

En el presente trabajo se estimó la vida útil de jamón de cerdo mediante pruebas aceleradas, empleando el índice de peróxidos, expresado en meqO<sub>2</sub>/kg de muestra, como indicador de la cinética de deterioro a tres diferentes temperaturas, teniendo en cuenta que uno de los principales factores que reducen el tiempo de vida útil de los productos cárnicos son los abusos de temperatura durante el proceso de almacenamiento (Buelvas *et al.*, 2012).

### Materiales y Métodos

#### Elaboración de jamón de cerdo

La carne de cerdo empleada en este trabajo fue adquirida en el mercado local de Cartagena, Colombia. Los demás ingredientes, tales

### PALABRAS CLAVE / Índice de Peróxido / Jamón de Cerdo / Pruebas Aceleradas / Vida Útil /

Recibido: 07/01/2015. Modificado: 10/06/2016. Aceptado: 13/06/2016.

**Luis Enrique Guzmán Carrillo.** Ingeniero de Alimentos, Universidad INCCA de Colombia. Especialista en Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de Cartagena (UniCartagena), Colombia. Docente, UniCartagena, Colombia. Dirección: Av. Consulado, Calle 30, N° 48-152, Cartagena de Indias, D. T. y C.,

Colombia. e-mail: lguzmancl@unicartagena.edu.co  
**Diana Paola Martínez Duque.** Ingeniera de Alimentos, UniCartagena, Colombia.  
**Dario Enrique Martínez Zuluaga.** Ingeniero de Alimentos, UniCartagena, Colombia.  
**Diofanor Acevedo.** Ingeniero de Alimentos y Químico Farmacéu-

tico, UniCartagena, Colombia. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia (UNal). Ph.D. en Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Colombia. Docente, UniCartagena, Colombia.  
**Piedad Margarita Montero.** Ingeniera de Alimentos, Uni-

versidad de la Salle, Colombia. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, UNal, Colombia. M.Sc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Zulia, Venezuela. Ph.D. en Gerencia, Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín, Venezuela. Docente, UniCartagena, Colombia.

## STUDY OF USEFUL LIFE OF HAM THROUGH ACCELERATED TESTING

Luis Enrique Guzmán Carrillo, Diana Paola Martínez Duque, Dario Enrique Martínez Zuluaga, Diofanor Acevedo and Piedad Margarita Montero

### SUMMARY

In the food industry, it is necessary to know the shelf life of products to ensure end users that purchased food keeps all its properties in proper condition. In this work we studied the kinetics of deterioration of ham through accelerated testing, using the peroxide index as an indicator of impairment. The product was stored at 5, 15 and 30°C for 36h and peroxide was deter-

mined according to ISO 3960. The kinetics of the reaction was assumed to be zero order and kinetic constants found were 0.79, 0.90 and 1.08 meqO<sub>2</sub>/kg-h, in order of increasing temperature. The peroxide index increased in function of time in the ham studied; it exhibits kinetics of order zero, an activation energy of 8.4kJ·mol<sup>-1</sup> relative to the storage temperature, and a Q<sub>10</sub> factor of 1.15.

## ESTUDO DE VIDA ÚTIL DO PRESUNTO ATRAVÉS DE UM TESTE ACELERADO

Luis Enrique Guzmán Carrillo, Diana Paola Martínez Duque, Dario Enrique Martínez Zuluaga, Diofanor Acevedo e Piedad Margarita Montero

### RESUMO

Na indústria alimentar, é necessário conhecer a vida dos produtos para garantir aos usuários finais que compraram comida mantém todas as suas propriedades em bom estado. Neste trabalho estudamos a cinética da deterioração de presunto através de acelerado de teste, usando o índice de peróxido como um indicador de deficiência. O produto foi armazenado a 5, 15 e 30°C durante 36h e determinou-se o peróxido de acor-

do com a norma ISO 3960. A cinética da reação foi assumido ordem zero e as constantes cinéticas foram encontrados 0,79; 0,90 e 1,08 meqO<sub>2</sub>/kg-h, com a finalidade de aumentar a temperatura. O índice de peróxido, aumentado em função do tempo no presunto estudado exibe cinética de ordem zero, uma energia de ativação de 8,4kJ·mol<sup>-1</sup> relativamente à temperatura de armazenamento e do factor Q<sub>10</sub> de 1,15.

como el almidón de papa, sal curante, humo líquido, condimento para jamón, y polifosfatos, fueron adquiridos en una distribuidora de productos para salsamentaria de la ciudad. La formulación empleada para la elaboración del jamón de cerdo (Tabla I) fue la sugerida por la norma técnica colombiana (NTC 1325, 2008).

Para la elaboración, la carne de cerdo fue mezclada con la sal curante, almidón de papa, humo líquido, condimento para jamón y agua por un periodo de 10min, y se dejó en reposo durante 24h a 4°C. Finalizado este período de reposo, la masa

se dividió en dos partes. Una mitad fue sometida a un troceado fino empleando para ello un procesador Black & Decker FP1335, luego de lo cual se mezcló con la otra mitad durante 10min. A continuación, la masa obtenida fue embutida en una funda ALIFAN 'cero mermas'. Para el embutido se utilizó una embutidora manual; el producto obtenido fue sometido a tratamiento térmico utilizando agua a 80°C, hasta que las piezas alcanzaron 70°C en su centro. Para el control de temperatura se utilizó un termómetro digital de sonda SPARRTSNET SP322. Terminado el tratamiento térmico, el producto obtenido se sometió a un choque térmico y posterior almacenamiento a 4°C durante 24h. El siguiente paso fue el rebanado con una tajadora JAVAR CI300, y finalmente se empacaron al vacío en unidades de ~100g en bolsas de polietileno de alta densidad, utilizando una empacadora al vacío JAVAR DZ400. Las muestras así preparadas se almacenaron en cámara de clima constante a 5, 15 y 30°C.

### Índice de peróxido (IP)

El índice de peróxido se define como la cantidad (expresada en meqO<sub>2</sub>/kg de grasa) de peróxidos en la muestra que causan la oxidación del yoduro potásico en las condiciones de trabajo empleadas (Rondón *et al.*, 2004; García y Molina, 2008). La muestra problema, disuelta en ácido acético: cloroformo 3:2, se trató con solución de yoduro potásico. El yodo liberado se valoró con solución de tiosulfato sódico 0,02M según el método ISO 3960 (2007) para la técnica de determinación de índice de peróxido. Los ensayos se realizaron por triplicado. Finalmente, el índice de peróxido se calculó mediante la Ec. 1.

$$IP = \frac{100(V - V_0)C}{m} \quad (1)$$

donde IP (meqO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>): índice de peróxido en aceite, V (cm<sup>3</sup>): volumen de solución de tiosulfato de sodio 0,02M utilizado para la determinación, V<sub>0</sub> (cm<sup>3</sup>): volumen de solución de tiosulfato de sodio 0,02M

utilizado en el blanco, C (mol/l): concentración de la solución de tiosulfato, y m (g): masa de la muestra.

### Periodicidad de análisis

La cantidad mínima de temperaturas para conducir un estudio de vida útil mediante pruebas aceleradas es de tres (García y Molina, 2008). En este estudio se establecieron las temperaturas de 5, 15 y 30°C como criterio experimental. Se usó una cámara de clima constante HPP 749 Memmert. Las temperaturas de 5 y 15°C se escogieron para establecer una diferencia de 10°C y poder calcular el valor de Q<sub>10</sub> que representa la razón de las constantes de velocidad de reacción a las temperaturas mencionadas (García y Molina, 2008). Las muestras fueron analizadas a las 0, 4, 8, 14, 20, 24, 30 y 36h.

### Modelo para la degradación cinética

Los alimentos siguen modelos de orden cero o primer

TABLA I  
FORMULACIÓN  
DE JAMÓN DE CERDO

Ingrediente	Cantidad (g)*
Carne de cerdo	1000
Almidón de papa	40
Azúcar	2,5
Sal	2,5
Humo líquido	1,5
Condimento para jamón	1,5
Polifosfatos	1,5

\* Porcentaje calculado sobre el peso de la pulpa de carne.

orden. Por su simplicidad y buenos resultados en investigaciones anteriores (García y Molina, 2008; García *et al.*, 2011; Figueroa *et al.*, 2012; Amodio *et al.*, 2015) en este estudio se trabajó con un modelo de orden cero como el de la Ec. 2. Integrando la Ec. 2 y reacomodando, se tiene la Ec. 3 de una línea recta con pendiente  $k$ ; siendo  $k$  la constante específica de reacción y cuyo valor depende de la temperatura.

$$-\frac{\partial X}{\partial t} = k \quad (2)$$

$$X_f = X_0 - kt \quad (3)$$

Puesto que la constante de velocidad de reacción es función de la temperatura, esta dependencia es descrita por la ecuación de Arrhenius. El modelo de Arrhenius describe la relación de la constante de velocidad de reacción con la temperatura según la Ec. 4. Al aplicar logaritmos a ambos lados de Ec. 4 se obtiene la ecuación de una línea recta con pendiente  $-E_a/R$ , tal como se expresa en la Ec. 5. El término  $E_a$  puede evaluarse para conocer el valor de la energía de activación.

$$k = Ae^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \quad (4)$$

$$\text{Ln}k = \frac{-E_a}{R} \frac{1}{T} + \text{Ln}A \quad (5)$$

donde  $k$ : constante de velocidad de reacción,  $A$ : factor de frecuencia,  $E_a$ : energía de activación,  $R$ : constante de los gases ideales ( $8,314472\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}$ ), y  $T$ : temperatura absoluta (K).

#### Cálculo del parámetro $Q_{10}$

El parámetro  $Q_{10}$  se define como la razón entre la constante de velocidad a una temperatura ( $T$ ) y la constante de velocidad a otra temperatura ( $T+10^\circ\text{C}$ ). Este no es constante sino que depende de  $E_a$  y la temperatura absoluta  $T$ . El parámetro  $Q_{10}$  se calcula de acuerdo a Donde  $k_T$  es la constante de reacción a  $T_1$  y  $k_{T+10}$  es la constante a la  $T_2 = T_1 + 10^\circ\text{C}$ .  $VU_T$  es la vida útil del producto a  $T_1$  y

$VU_{T+10}$  es la vida de anaquel a  $T_2 = T_1 + 10^\circ\text{C}$ .

$$Q_{10} = \frac{k_{T+10}}{k_T} = e^{\left(\frac{10E_a}{RT(T+10)}\right)} = \frac{VU_T}{VU_{T+10}} \quad (6)$$

#### Resultados y Discusión

Los resultados del índice de peróxidos en función del tiempo para cada temperatura se muestran en la Figura 1. Se puede observar que el índice de peróxidos del jamón de cerdo aumenta respecto al tiempo y su comportamiento es lineal. Las regresiones lineales obtenidas de esta figura se presentan en las Ecs. 7, 8 y 9. La tendencia muestra como a través del tiempo a temperaturas de 5, 15 y  $30^\circ\text{C}$  el índice de peróxido se fue incrementando, lo cual implica que hay un aumento de la rancidez del producto debida a las reacciones químicas que ocurren en los productos cárnicos como de la pasta de jamón, principalmente la oxidación, un proceso que transcurre aun cuando existan aditivos que lo retrasen (Yang *et al.*, 2013).

$$\text{IP} = 0,7929t - 7,2249 \quad (7)$$

$$\text{IP} = 0,9062t - 4,8537 \quad (8)$$

$$\text{IP} = 1,0839t - 8,9028 \quad (9)$$

Los incrementos del índice de peróxido ocurren a una velocidad de deterioro mayor a medida que se aumenta la temperatura de almacenamiento. Según Rondón *et al.*, (2004), el desarrollo de los peróxidos comienza en forma lenta y luego se incrementa con mayor velocidad. Los lípidos expuestos al aire reaccionan lentamente en un inicio, pero una vez que la rancidez se ha iniciado la velocidad se incrementa con bastante rapidez. Esto resulta de la formación de aldehídos y cetonas que dan a la grasa el sabor rancio seboso. El proceso de oxidación de los lípidos es de gran interés en la industria alimentaria, pues hace que los alimentos en que aparece sean inaceptables para el consumidor o disminuye la

vida útil de éstos (Rondón *et al.*, 2004).

Con las tres constantes obtenidas, representadas por las pendientes de las Ecs. 7, 8 y 9 para las tres temperaturas estudiadas, se aplicó el modelo de Arrhenius, en la forma como se expresa en la Ec. 5. De la regresión lineal que se muestra en la Figura 2 se obtiene la Ec. 10, necesaria para el cálculo de la energía de activación.

$$\text{Ln} = -1011,5 \frac{1}{T} - 3,4157 \quad (10)$$

La energía de activación que se calcula de esta ecuación fue de  $8405,93\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Datos teóricos reportados por algunos autores (García y Molina, 2008) sugieren que para que las reacciones de oxidación de lípidos procedan se requiere una energía de activación entre  $41870$  y  $104675\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ , mientras que para la reacción de oscurecimiento no enzimático se requiere una energía de activación comprendida entre  $104675$  y  $209350\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ . El valor obtenido de energía de activación en este estudio no está dentro del intervalo para una reacción de oxidación de lípidos, lo cual favorece un largo periodo de

vida útil para el producto; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que otras reacciones de deterioro estén sucediendo al mismo tiempo, dado lo complejo de los productos cárnicos (Yang *et al.*, 2013). Otros autores han utilizado este tipo de modelo por su eficacia y buenos resultados (García y Molina, 2008; García *et al.*, 2011; Figueroa *et al.*, 2012; Amodio *et al.*, 2015).

#### Cálculo del parámetro $Q_{10}$

Reemplazando los valores de  $k_T$  para  $5^\circ\text{C}$  y  $k_{T+10}$  para  $15^\circ\text{C}$  en la Ec. 6 y despejando  $Q_{10}$  se encontró un valor de 1,15. Este valor indica la velocidad de la reacción de deterioro se acelera 1,15 veces por cada  $10^\circ\text{C}$  de aumento en la temperatura, o lo que es igual, la vida útil de este producto decrece 1,15 veces por cada  $10^\circ\text{C}$  de aumento en la temperatura como se indica en la Ec. 11:

$$\frac{VU_T}{VU_{T+10}} = 1,15 \quad (11)$$

Para este caso de estudio, teniendo en cuenta el IP del producto, la vida útil media a

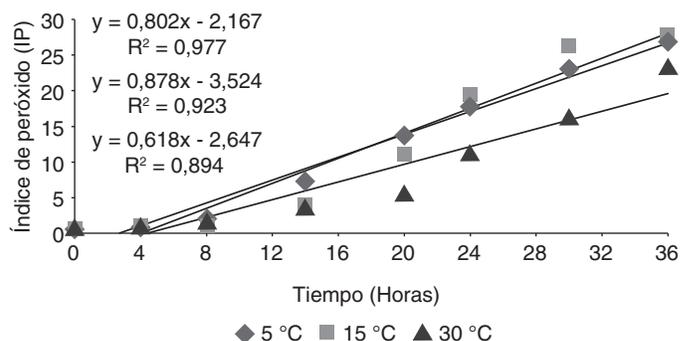


Figura 1. Índice de peróxidos a temperaturas de 5, 15 y  $30^\circ\text{C}$ .

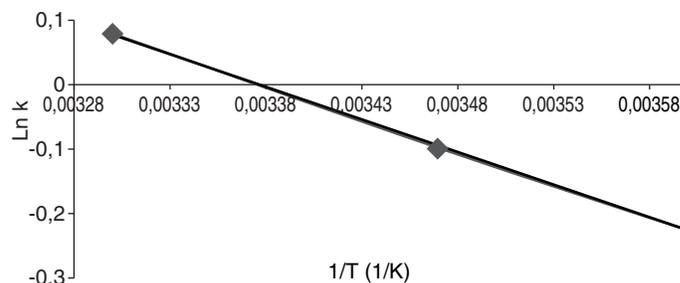


Figura 2.  $\text{Ln}k$  en función de  $1/T$ .

5°C fue de 20 días, lo cual indica que a 15°C será de un poco más de 17 días y a 30°C (aproximadamente temperatura ambiente) de 14 días, casi la mitad que a la temperatura más baja. Con esto se evidencia que la cadena de frío es una preocupación primordial de la industria cárnica, ya que los sistemas de producción, canales de distribución y zonas de almacenamiento tienen que mantener un intervalo de temperatura entre -1 y 2°C, sin superar los 5°C (Buelvas *et al.*, 2012). Lo anterior para evitar disminuir la vida útil de productos cárnicos refrigerados como el de este estudio (Tirado *et al.*, 2005). En países como Colombia, al igual que en otros países latinoamericanos, la situación se aleja de esta realidad, porque los estantes de refrigeración son generalmente programados a 7 y 10°C y en algunos sectores son apagados por la noche (Buelvas *et al.*, 2012). En cadenas de autoservicios, por ejemplo, se han implementado 'pasillos fríos' para disminuir el diferencial de temperatura entre el anaquel y el medio ambiente, sin embargo muchos de estos se encuentran frecuentemente por encima de los 15°C (Buelvas *et al.*, 2012).

En otros estudios similares, Limbo *et al.* (2010) evaluaron la vida útil de carne picada envasada en atmósfera modificada a temperaturas de 4,3, 8,1 y 15,5°C, encontrando que los valores medios de vida útil fueron de 9 días a 4,3°C (temperatura de almacenamiento recomendada), 3-4 días a 8,1°C (temperatura usual en los refrigeradores de uso doméstico) y 2 días a 15,5°C (temperatura de abuso). Los investigadores concluyeron que el estudio de la vida útil, basándose en las condiciones aceleradas, mostró una relación tiempo-temperatura útil para medir la decadencia de calidad durante algunas fases de la comercialización del producto cárnico.

## Conclusiones

Se demostró que en el jamón de cerdo el aumento del índice de peróxido en función del tiempo exhibe una cinética de orden cero, una energía de activación de 8,4kJ·mol<sup>-1</sup> con relación a la temperatura de almacenamiento y un factor Q<sub>10</sub> de 1,15. La vida útil media a 5°C fue de 20 días, lo cual indica que a 15°C será de un poco más de 17 días y a 30°C (aproximadamente temperatura ambiente) de 14 días, casi la mitad que a la temperatura más baja. Este tipo de estudio indica la existencia de mecanismos para obtener, en un tiempo relativamente corto, la información necesaria para determinar la vida útil de los productos.

## REFERENCIAS

Amodio ML, Derossi A, Mastrandrea L, Colelli G (2015) A study of the estimated shelf life of fresh rocket using a non-linear model. *J. Food Eng.* 150: 19-28.

Buelvas GA, Patiño JH, Restrepo CE (2012) Efecto de la cadena de frío sobre el crecimiento de bacterias ácido-lácticas, la calidad fisicoquímica y la alteración de jamones cocidos lonchados empacados al vacío. *Rev. Lasall. Invest.* 9: 55-64.

Dak M, Sagar VR, Jha SK (2014) Shelf-life and kinetics of quality change of dried pomegranate arils in flexible packaging. *Food Packag. Shelf Life* 2: 1-6.

Derossi A, Mastrandrea L, Amodio ML., de Chiara MLV, Colelli G (2016) Application of multivariate accelerated test for the shelf life estimation of fresh-cut lettuce. *J. Food Eng.* 169: 122-130.

Figuroa OA, Zapata, JÉ, Gutierrez GA (2012) Modelamiento de la cinética de hidrólisis enzimática de proteínas del plasma bovino. *Rev. EIA* 17: 71-84.

García C, Chacón G, Molina ME (2011) Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería* 21: 31-38.

García C, Molina, ME (2008) Estimación de la vida útil de una

mayonesa mediante pruebas aceleradas. *Ingeniería.* 18: 57-64.

González MI, Suarez H, Martínez OL (2009) Relación entre las características fisicoquímicas y sensoriales en jamón de cerdo durante el proceso de cocción y temperatura de almacenamiento. *Vitae* 16: 183-189.

ISO (2001) *ISO 3960. Animal and Vegetable Fats and Oils. Determination of Peroxide Value.* 3ª ed. International Organization for Standardization. Ginebra, Suiza.

Kebede BT, Grauwet T, Magpusao J, Palmers S, Michiels C, Hendrickx M, Van Loey A (2015) An integrated fingerprinting and kinetic approach to accelerated shelf-life testing of chemical changes in thermally treated carrot puree. *Food Chem.* 179: 94-102.

Lee ES, Park SY, Jeong YG, Jo BC, Kim M, Ha SD (2015) Quality evaluation and estimation of shelf life of retort-pouched tomato-based and Korean traditional fermented food-based sauces. *J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem.* 58: 229-236.

Limbo S, Torri L, Sinelli N, Franzetti L, Casiraghi E (2010) Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. *Meat Sci.* 84: 129-136.

Min M, Seok Y (2014) Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. *Food Contr.* 40: 198-207.

NTC 1325 (2008) *Industrias Alimentarias. Productos Cárnicos Procesados no Enlatados.* 5ª actualización. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, Colombia.

Núñez M (2011) *La Vida Útil de los Alimentos. Métodos de Estimación.* 1ª ed. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. La Habana, Cuba. 154 pp.

Ocheme B, Ariaahu C, Ingbian E, Igbabul B (2014) Prediction of Shelf Life of Dakuwa (Nigerian cereal/groundnut snack) Using pH as Index of Acceptability. *Food Sci. Qual. Manag.* 24: 16-23.

Odrizola-Serrano I, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O (2009) Influence of storage temperature on the kinetics of the changes in anthocyanins, vitamin C, and antioxidant capacity in fresh-cut

strawberries stored under high-oxygen atmospheres. *J. Food Sci.* 74: 184-191.

Qi L, Xu M, Fu Z, Mira T, Zhanga X (2014) C2SLDS: A WSN-based perishable food shelf-life prediction and LSFO strategy decision support system in cold chain logistics. *Food Control* 38: 19-29.

Ramachandra CT, Rao PS (2013) Shelf-life and colour change kinetics of Aloe vera gel powder under accelerated storage in three different packaging materials. *J. Food Sci. Technol.* 50: 747-754.

Rao Q, Rocca-Smith JR, Schoenfussa TC, Labuza TP (2012) Accelerated shelf-life testing of quality loss for a commercial hydrolysed hen egg white powder. *Food Chem.* 135: 464-472.

Robertson GL (2012) *Food Packaging: Principles and Practices.* 3ª ed. Dekker. Nueva York, EEUU. 733 pp.

Rondón E, Pacheco E, Ortega F (2004) Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q<sub>10</sub>. *Rev. Fac. Agron.* 21: 68-83.

Sothornvit R, Kiatchanapaibul P (2009) Quality and shelf life of washed fresh-cut asparagus in modified atmosphere packaging. *LWT - Food Sci. Technol.* 42: 1484-1490.

Tirado J, Paredes D, Velazquez G, Torres JA (2005) Crecimiento microbiano en productos cárnicos refrigerados. *Cienc. Tecnol. Alim.* 5: 6-76.

Udomkun P, Nagle M, Argyropoulos D, Mahayothee B, Latif S, Müller J (2016) Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chem.* 196: 712-719.

Vaidya B, Eun JB (2013) Effect of temperature on oxidation kinetics of walnut and grape seed oil. *Food Sci. Biotechnol.* 22: 273-279.

Yang N, Horta J, Linforth R, Brown K, Walsh S, Fisk ID (2013) Impact of flavour solvent (propylene glycol or triacetin) on vanillin, 5-(hydroxymethyl)furfural, 2,4-decadienal, 2,4-heptadienal, structural parameters and sensory perception of short-cake biscuits over accelerated shelf life testing. *Food Chem.* 141: 1354-1360.