

Estimación de la Inocuidad, Calidad Nutricional y Sensorial de Productos Alimenticios Durante su Vida Útil

M. Corradini
Instituto de Tecnología
Departamento de Ingeniería y Ciencias Exactas
Universidad Argentina de la Empresa
Lima 717, C1073AAO, Ciudad de Buenos Aires, Rep. Argentina
mariagcorradini@gmail.com

Resumen

La inocuidad, estabilidad de nutrientes y calidad sensorial de un alimento deben asegurarse a lo largo de toda su vida útil nominal. Normalmente la determinación de la vida útil de un producto se realiza exclusivamente mediante la verificación empírica de su deterioro microbiológico, nutricional o sensorial y/o el uso de ensayos acelerados. Una vez obtenidos los datos, su utilización es limitada, posiblemente debido a que la mayoría de estos procesos bioquímicos y microbiológicos siguen una cinética no lineal o a la carencia de programas de libre uso que permitan obtener una visión integral de los cambios en la calidad e inocuidad bajo condiciones dinámicas.

Para brindar a la industria agroalimentaria y a entidades educativas una herramienta para la predicción de vida útil que pueda ser utilizada con la infraestructura existente se han generado dos programas: uno para estimar el crecimiento microbiano y otro para determinar la degradación de nutrientes bajo condiciones dinámicas. Dichos programas son de uso gratuito y pueden usarse: a) para extender la aplicabilidad de los datos de vida útil durante el desarrollo de nuevos productos, b) para entrenamiento de personal y alumnos y c) en la determinación del riesgo asociado con condiciones de almacenamiento y transporte.

Palabras Claves: *vida útil, microbiología predictiva, cinética no-lineal, inocuidad alimentaria, deterioro nutricional, deterioro sensorial.*

Abstract

A product's safety, nutritional stability and sensory quality must be ensured throughout all its nominal shelf life. The end of a product's shelf life is usually assessed by the use of accelerated studies and/or by reaching a certain microbiological, nutritional or sensorial spoilage level. Once the data have been obtained, further utilization is limited, probably because most of these biochemical or microbiological processes follow a non linear kinetics or because of the lack of adequate tools, i.e., freeware, to obtain an accurate estimation of the overall quality and safety under dynamic conditions.

Two programs, one that estimates microbial growth and another to determine nutrients degradation, have been developed to provide the food industry and educational institutions with an instrument to predict shelf life under unsteady conditions. These programs are available to the general public free of charge. They can be used; a) to extend the applicability of shelf life data during the development of new products, b) as an educational tool in academia or industry and c) to assess risks during transport and storage of food products.

Keywords: *shelf life, predictive microbiology, non-linear kinetics, food safety, nutritional degradation, sensorial deterioration.*

1. Introducción

El progreso de los procesos que afectan la inocuidad y calidad de productos alimentarios durante su vida útil (por ej.: degradación de vitaminas, cambios en textura, aparición de olores desagradables) han sido caracterizados tradicionalmente en términos de cinética de primer orden [1,2]. Sin embargo, el crecimiento de una población de microorganismos o la degradación de un nutriente no pueden continuar indefinidamente. Por lo tanto, para caracterizar apropiadamente estos

procesos es necesario describir adecuadamente su variación a través del tiempo.

La industria alimentaria carece actualmente de instrumentos de fácil utilización, bajo costo y alta efectividad para estimar la vida útil de un producto de manera integral. Esto determina que los resultados de los ensayos y las predicciones de vida útil, normalmente obtenidas asumiendo que los cambios siguen una cinética de primer orden, sean de limitada utilidad.

La utilización e integración de modelos más adecuados para caracterizar la cinética de dichos

Recibido: Junio, 2008

Aceptado: Agosto, 2008

procesos – tales como los propuestos en este artículo y utilizados por varios autores [3-7] – permite extender la utilidad de los ensayos de vida útil. Esto contribuye a predecir apropiada y oportunamente los riesgos de un proceso determinado y permite prever los efectos de los cambios en las condiciones de almacenamiento y transporte en la estabilidad e inocuidad de un producto.

El uso de herramientas predictivas tiene la potencialidad de ayudar a comprender los distintos componentes de la vida útil de un alimento, reducir el tiempo de desarrollo de nuevos productos, minimizar costos y evaluar los efectos de escenarios hipotéticos.

Por lo tanto, los objetivos de este artículo son:

a.- Presentar modelos alternativos para el seguimiento del deterioro microbiológico y nutricional en alimentos durante su vida útil.

b.- Extender el trabajo realizado en relación al deterioro microbiológico al deterioro de nutrientes y al deterioro sensorial.

c.- Rever instrumentos sencillos y de bajo costo (programas en Microsoft Excel® de distribución gratuita a través de Internet) para facilitar a empresas e instituciones educativas el adecuado cálculo de crecimiento microbiano y degradación de nutrientes bajo condiciones reales de transporte y almacenamiento.

d.- Proveer ejemplos del efecto potencial de fluctuaciones en las condiciones de almacenamiento y transporte para obtener un panorama probabilístico de los riesgos que se presentan durante la vida útil de un producto.

2. Metodología

2.1. Obtención de predicciones bajo condiciones no isotérmicas

Con objeto de realizar este estudio, se reunieron datos experimentales publicados de crecimiento microbiano, degradación de nutrientes (por ej.: vitaminas o pigmentos) y deterioro sensorial obtenidos bajo condiciones isotérmicas y no isotérmicas.

2.1.1. Normalización de los datos. Los valores de crecimiento microbiano fueron transformados en la proporción de crecimiento observado, $Y(t)$, calculada dividiendo la carga microbiana instantánea, $N(t)$, por la carga microbiana inicial, N_0 [3]. Este índice está expresado en escala logarítmica.

Los datos de degradación de nutrientes y deterioro sensorial fueron tratados de una manera similar; estableciendo la relación entre la concentración instantánea del nutriente, $C(t)$, y su concentración inicial, C_0 , o la relación entre el índice de calidad sensorial momentáneo, $S(t)$, y dicho índice al inicio del estudio, S_0 [4,5].

2.1.2. Selección de modelos primarios. Luego de haber realizado la normalización, se escogieron diversos modelos primarios para ajustar los datos adquiridos bajo condiciones isotérmicas. La elección de los modelos primarios no se basó en una cinética pre-concebida, sino en la bondad de ajuste de los modelos aplicados [6,7].

En el caso del crecimiento microbiano los modelos que proveyeron una mejor caracterización fueron:

Modelo Logístico Modificado

$$Y(t) = \text{Log}_{10} \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = \frac{c}{1 + \exp\{k[t_c - t]\}} - \frac{c}{1 + \exp[k * t_c]} \quad (1)$$

y Modelo Empírico (“Power Model”)

$$Y(t) = \text{Log}_{10} \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = \frac{a * t^n}{b + t^n} \quad (2)$$

donde a , b , c , k y t_c son los parámetros de cada modelo. Más información y detalles sobre estos modelos se encuentran disponibles en Corradini y Peleg [3].

En el caso de los índices de deterioro nutricional y sensorial los modelos seleccionados fueron:

Modelo de Weibull

(3)

Modelo Empírico

$$\frac{C(t)}{C_0} \text{ o } \frac{S(t)}{S_0} = 1 - \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (4)$$

$$\frac{C(t)}{C_0} \text{ o } \frac{S(t)}{S_0} = \exp(-bt^n)$$

Los coeficientes b , n , k_1 y k_2 son parámetros que dependen de la temperatura. Información suplementaria acerca de estos modelos está disponible en Corradini & Peleg [4] y Peleg et al. [5].

Nótese que el modelo cinético de primer orden (ecuación 5), normalmente utilizado para caracterizar este tipo de procesos, es un caso especial del modelo de Weibull cuando $n = 1$.

$$\frac{C(t)}{C_0} \text{ o } \frac{S(t)}{S_0} = \exp(-kt) \quad (5)$$

2.1.3. Selección de modelos secundarios. La dependencia de la temperatura de los parámetros de los modelos primarios [$a(T)$, $b(T)$, $k_1(T)$, $k_2(T)$, etc.] fue sucesivamente caracterizada utilizando diversos modelos empíricos (modelos secundarios). Por ejemplo, uno de los modelos empleados para determinar la relación entre la velocidad de deterioro nutricional o sensorial (b en la ecuación 3) y la temperatura fue el modelo log-logístico:

$$b(T) = \text{Log}[1 + e^{k(T-T_c)}]$$

(6)

Este modelo presenta un ventaja sobre el tradicionalmente usado modelo de Arrhenius [6]; establece una distinción clara entre aquellas temperaturas que aceleran significativamente el deterioro y aquellas que no. El parámetro t_c indica a que temperatura el deterioro se incrementa. Otra ventaja en comparación con el modelo de Arrhenius es que el modelo log- logístico no requiere que se lleve a cabo la compresión de escala de temperatura ni la de la tasa de reacción [6-8]. Cabe destacar nuevamente que la selección de los modelos tanto primarios como secundarios se basó únicamente en la adecuación del ajuste y la conveniencia del modelo y no en tratar de imponer una cinética de reacción preestablecida.

2.1.4. Modelo para la predicción de índices de calidad bajo condiciones no isotérmicas. La combinación de los modelos primarios y secundarios resultó en la enunciación de modelos de crecimiento, degradación de nutrientes y deterioro sensorial bajo condiciones no isotérmicas. Dichos modelos se basan en el hecho que la pendiente local de la curva no isotérmica corresponde a la pendiente de la curva isotérmica a la temperatura instantánea en el tiempo que corresponde al deterioro momentario del producto[3-6].

Estos modelos combinados, los cuales se expresan en forma de ecuaciones diferenciales ordinarias, pueden resolverse numéricamente para producir curvas de crecimiento microbiano, degradación de nutrientes o deterioro sensorial bajo condiciones dinámicas. Las ecuaciones diferenciales para la predicción del crecimiento microbiano que surgen de la combinación de las ecuaciones 1 y 2 con sus respectivos modelos secundarios son, respectivamente [3]:

$$\frac{dY(t)}{dt} = \frac{k[T(t)]c[T(t)]\exp\{k[T(t)]\{t_c[T(t)] - t^*\}\}}{[1 + \exp\{k[T(t)]\{t_c[T(t)] - t^*\}\}]^2} \quad (7)$$

donde t^* corresponde a la inversa de la ecuación 1, y:

$$\frac{dY(t)}{dt} = \frac{a[T(t)]b[T(t)]n[T(t)]t^{*n[T(t)]-1}}{\{b[T(t)] + t^{*n[T(t)]}\}^2} \quad (8)$$

donde t^* corresponde a la inversa de la ecuación 2. Nótese que los parámetros del modelo logístico, c , k y t_c , y los del modelo empírico, a , b y n , han sido reemplazados por $c[T(t)]$, $k[T(t)]$, $t_c[T(t)]$ y $a[T(t)]$, $b[T(t)]$, $n[T(t)]$, respectivamente. Estas funciones permiten establecer su dependencia con la temperatura y el tiempo.

En el caso de la predicción de cambios en los índices nutricionales y sensoriales, las ecuaciones diferenciales correspondientes a los modelos primarios presentados (ecuaciones 3 & 4) son [3]:

$$\frac{dC(t)}{C_0 dt} \text{ o } \frac{dS(t)}{S_0 dt} = -b[T(t)]\exp[-b[T(t)]t^{*n[T(t)]}] \cdot n[T(t)] \cdot t^{*n[T(t)]-1} \quad (9)$$

y

$$\frac{dC(t)}{C_0 dt} \text{ o } \frac{dS(t)}{S_0 dt} = \frac{k_2[T(t)]t^{*}}{\{k_1[T(t)] + k_2[T(t)]t^{*}\}^2} - \frac{1}{k_1[T(t)] + k_2[T(t)]t^{*}} \quad (10)$$

En las ecuaciones 9 y 10, t^* también corresponde a la inversa de las ecuaciones 3 y 4, respectivamente.

La solución de las ecuaciones diferenciales presentadas puede llevarse a cabo utilizando software específico, por ejemplo: MatLab® o Mathematica®. Debido a la escasa difusión de este tipo de software en la industria alimentaria y a la inercia que expresa el sector a utilizar modelos no lineales, se decidió generar una serie de programas en Microsoft Excel® que permitan resolver dichas ecuaciones diferenciales para obtener los índices de deterioro bajo condiciones dinámicas. Estos programas son de uso libre y están disponibles al público en general en: www.mariagcorradini.info; hacer clic en “Growth programs” o “Nutrient degradation program”. Los mismos resuelven la ecuación diferencial mediante un método explícito de incrementos finitos. Los detalles de la construcción del programa de crecimiento microbiano puede accederse en Corradini et al. [9] y los del programa de degradación de nutrientes en la página web correspondiente.

Es importante destacar que para utilizar estos programas la única información necesaria es el perfil de temperatura al cual se va a exponer el producto (expresado algebraicamente) y la dependencia de los parámetros de los modelos primarios con la temperatura, por ejemplo $b(T)$. Dichos datos son introducidos en las celdas correspondientes del programa de Excel® (Figura 1) y como resultado se obtiene la curva de crecimiento microbiano o degradación nutricional correspondiente.

El programa para establecer la degradación nutricional también puede ser utilizado para generar curvas de deterioro sensorial bajo condiciones no – isotérmicas siempre y cuando los índices de deterioro sensorial puedan ser descriptos por el mismo modelo primario que la degradación nutricional.

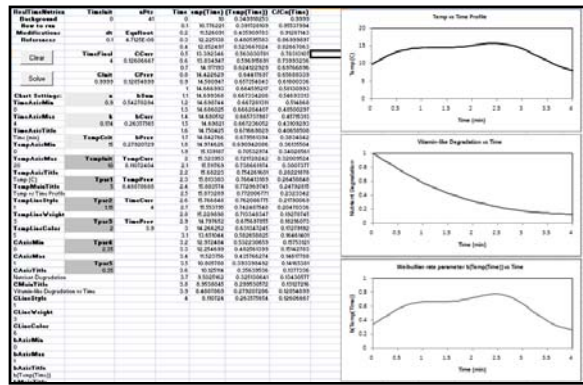


Figura 1. Vista del programa de uso libre desarrollado en Microsoft Excel® para la estimación de degradación de nutrientes bajo condiciones no isotérmicas

De esta manera la obtención de curvas de crecimiento microbiano, deterioro nutricional o sensorial bajo condiciones dinámicas se ve ampliamente facilitada y la posibilidad de incorporar este tipo de análisis a la rutina de una empresa ya no se ve aparejada con una inversión desmedida de tiempo o trabajo.

2.2. Estimación estadística de riesgos asociados a la vida útil

La resolución de las ecuaciones diferenciales usando este software es tan simple que es posible utilizar este programa para obtener una estimación probabilística de los riesgos asociados durante la vida útil de un producto.

Con este objetivo, es posible generar múltiples soluciones de la ecuación diferencial de interés incorporando pequeñas fluctuaciones al azar en el perfil de temperatura seleccionado. De esta manera se simulan variaciones en las condiciones ambientales que reflejan las diferencias experimentadas por cada una de las unidades de una partida. Estas variaciones representan cambios debido al posicionamiento en el contenedor, diferencias en el manejo y almacenado, o distintas vías de distribución. Dichas diferencias pueden traducirse en oscilaciones dentro del perfil de temperatura original las cuales resultarán en diferentes grados de deterioro. De esta manera es posible evaluar el impacto del transporte y almacenamiento en la vida útil de un producto y construir distribuciones de frecuencia hipotéticas de las unidades que permanecen en buen estado después de un periodo de tiempo determinado o estimar la distribución de tiempos para alcanzar un nivel de deterioro inaceptable [10]. Un diagrama de este procedimiento se presenta en la Figura 2.

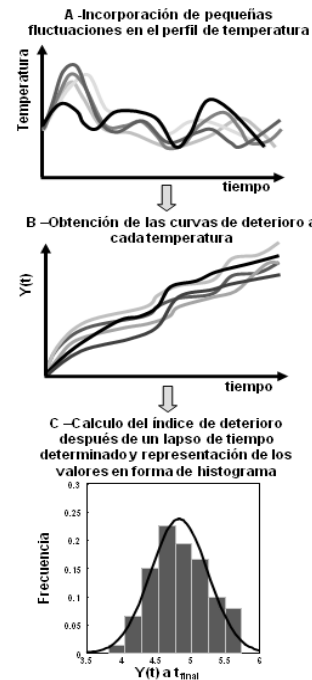


Figura 2. Procedimiento empleado para estimar la probabilidad de deterioro de un alimento durante su vida útil

3. Demostraciones

En las figuras 3 a 5 se ilustran los datos experimentales y las salidas generadas de la aplicación de los modelos para caracterizar el deterioro isotérmico durante la vida útil de un producto. Los modelos se han aplicado a tres procesos de interés durante la determinación de vida útil de un producto:

a) El crecimiento microbiano; en este caso de *Escherichia coli* 1952 a tres temperaturas constantes. (ver Figura 3).

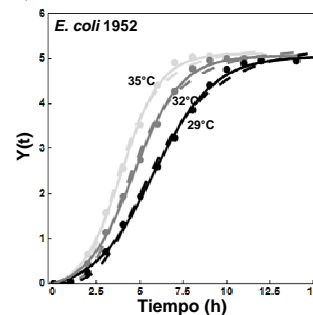


Figura 3. Crecimiento isotérmico de *E. coli* 1952. Círculos: datos experimentales, líneas continuas: ajuste realizado con el modelo logístico modificado, líneas punteada: ajuste realizado con el modelo empírico.

Los datos originales corresponden a Fujikawa et al. [11]. En adición a las tres juegos de datos graficados en la figura, Fujikawa et al. reportan el crecimiento a otras cuatro temperaturas las cuales también se han ajustado con los modelos pero no fueron incluidas en la figura. Ambos modelos sugeridos para caracterizar los datos (logístico

modificado y empírico “power model”) proveen una descripción similar del crecimiento a todas las temperaturas. Los parámetros de crecimiento microbiano de ambos modelos se encuentran listados en las Tablas #1 y #2, respectivamente. En dichas tablas también se reporta el error cuadrático medio (ECM) de los modelos para cada temperatura. En todos los casos, los valores de ECM son muy bajos lo cual denota la adecuación de los modelos para describir el crecimiento a dichas temperaturas.

Tabla 1. Parámetros del modelo logístico modificado utilizado para caracterizar el crecimiento de *E. coli* 1952 bajo condiciones isotérmicas.

Temperatur a (°C)	Modelo Empírico			
	c(T) (-)	k(T) (h ⁻¹)	t _c (T) (h)	MSE*
29	5.23	0.58	5.76	0.007
30	5.04	0.65	5.83	0.008
31	5.16	0.68	4.85	0.007
32	5.23	0.73	4.63	0.007
33	5.24	0.76	4.47	0.007
34	4.97	0.87	4.21	0.007
35	5.26	0.89	3.91	0.006

*error cuadrático medio o mean square error (MSE)

Tabla 2. Parámetros del modelo empírico utilizado para caracterizar el crecimiento de *E. coli* 1952 bajo condiciones isotérmicas.

Temperatur a (°C)	Modelo Empírico			
	a(T) (-)	b(T) (h ⁿ)	n(T) (-)	MSE*
29	5.39	288	3.2	0.021
30	5.32	283	3.2	0.022
31	5.20	177	3.3	0.024
32	5.26	184	3.4	0.024
33	5.31	149	3.3	0.023
34	5.01	184	3.6	0.020
35	5.26	117	3.5	0.024

*error cuadrático medio o mean square error (MSE)

b) La degradación de un nutriente; vitamina C en arvejas, durante su almacenamiento a cinco temperaturas constantes (Figura 4). Estos datos fueron originalmente reportados por Giannakourou & Taoukis [12]. Ambos modelos (Weibull y empírico) fueron utilizados para caracterizar los valores publicados. Nótese que los modelos no son únicos ya que ambos proveen una buena descripción del deterioro a temperaturas constantes. El error cuadrático medio para ambos modelos a todas las temperaturas está en el rango de 1×10^{-6} a 0.005.

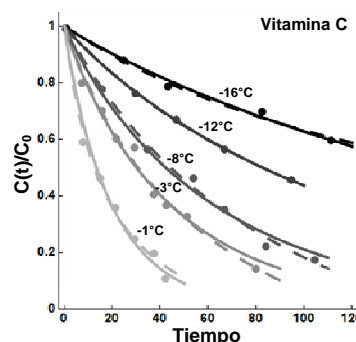


Figura 4. Degradación isotérmica de vitamina C en arvejas. Círculos: datos experimentales, líneas continuas: ajuste realizado con el modelo de Weibull, líneas punteadas: ajuste realizado con el modelo empírico.

c) Por último, el deterioro de una característica sensorial; la percepción de aroma de una pasta de guanábana. El análisis sensorial de dicho alimento fue realizado por un panel entrenado y reportado por Umme et al. [13]. Los datos obtenidos a tres temperaturas constantes fueron caracterizados usando ambos modelos (Figura 5). La bondad de ajuste de dichos modelos fue considerada en términos del error cuadrático medio, el cual en todos los casos se encontró de un rango de 0.0005 a 0.001.

Cuando se utilizo el modelo de Weibull para caracterizar la degradación de vitamina C y la calidad sensorial de la pasta guanábana se comprobó que el valor de n –el parámetro que refleja la concavidad de la curva- difiere de 1 (el cual correspondería a una cinética de primer orden). Por ejemplo, en el caso de la pasta de guanábana almacenada a -5, 4 y 15°C, los valores de n son 0.78, 0.88 y 0.46, respectivamente lo cual pone de manifiesto la discrepancia con los modelos tradicionales [14].

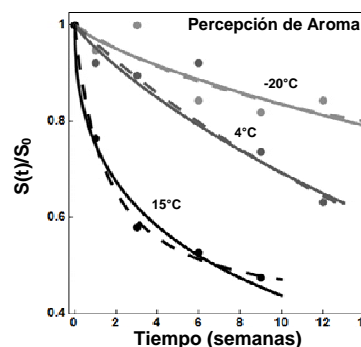


Figura 5. Deterioro isotérmico de la percepción de aroma de una pasta de guanábana. Círculos: datos experimentales, líneas continuas: ajuste realizado con el modelo de Weibull, líneas punteadas: ajuste realizado con el modelo empírico.

Habiendo seleccionado los modelos primarios y secundarios ahora es posible predecir qué ocurrirá bajo diferentes condiciones (por ejemplo; perfiles de temperatura no isotérmicos). Las predicciones obtenidas mediante el empleo de la solución numérica usando el programa desarrollado en Excel[®] fueron verificadas por comparación con los datos experimentales (Figura 6). Es necesario notar que dicho método predice adecuadamente el crecimiento de *E. coli* y la degradación de vitamina C bajo condiciones no isotérmicas, independientemente de cuan complicados sean los perfiles de temperatura. La efectividad de los modelos fue validada mediante la apropiada predicción de los valores experimentales. Es necesario notar que la discrepancia entre los valores predichos y los datos experimentales fue menor a 0.1 ciclo logarítmico y a 0.05 unidades para el crecimiento y la degradación, respectivamente.

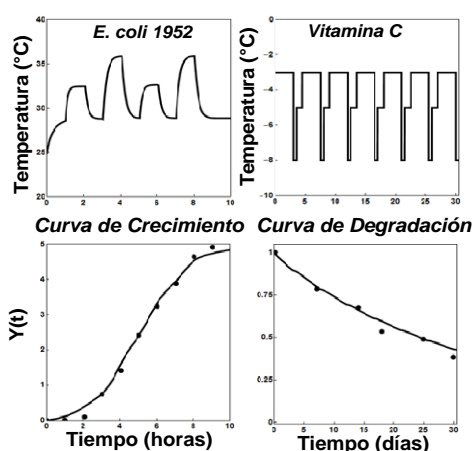


Figura 6. Datos experimentales (círculos) y predicciones del crecimiento de *E. coli* 1952 y la degradación de vitamina C en arvejas bajo condiciones dinámicas (no isotérmicas). Las predicciones fueron obtenidas usando el programa desarrollado en Excel[®]

Como se ha mencionado anteriormente estos programas pueden emplearse repetidamente para estimar cual es la probabilidad que un producto haya alcanzado cierto nivel de deterioro, ya sea microbiológico, nutricional o sensorial durante su transporte y almacenamiento. Los perfiles de temperatura hipotéticos exhibidos en la Figura 7-A fueron contruidos de acuerdo a las observaciones de Nauta et al. [15]. Ellos han registrado las temperaturas observadas en un producto desde el momento de la llegada de un alimento a un comercio minorista hasta el final de su vida útil nominal. Nauta y sus colaboradores han estimado que el producto permanece en el comercio minorista entre 24 y 48 horas a una temperatura de 4 ± 2.7 °C. Una vez adquirido y hasta llegar a su destino final (el domicilio del consumidor) la temperatura del producto escala a valores entre 10 y 25°C. Finalmente, en el domicilio del consumidor la temperatura del producto disminuye como

consecuencia del empleo de refrigeración, siendo su valor 6.6 ± 2.4 °C.

Cada perfil de temperatura individual, si bien sigue una tendencia general, refleja las diferencias en condiciones de transporte y/o almacenamiento que cada una de las unidades de una partida podría experimentar. Dichas diferencias fueron implementadas mediante la adición de fluctuaciones al azar al perfil promedio de temperatura. En la Figura 7-A solo se presenta 15 de los 200 perfiles de temperatura generados con un programa elaborado utilizando el software Mathematica[®].

Datos de dos tipos microorganismos, uno psicrófilo (*Pseudomonas fluorescens*) y otro mesófilo (*E. coli* 1952), fueron utilizados para establecer los modelos primarios y secundarios pertinentes.

Se estimó el crecimiento de ambos tipos de microorganismos para todos y cada uno de los perfiles de temperatura. Como es de esperarse, considerando que los perfiles térmicos utilizados simulan una cadena de frío, el crecimiento del organismo psicrófilo es más pronunciado que el de *E. coli*.

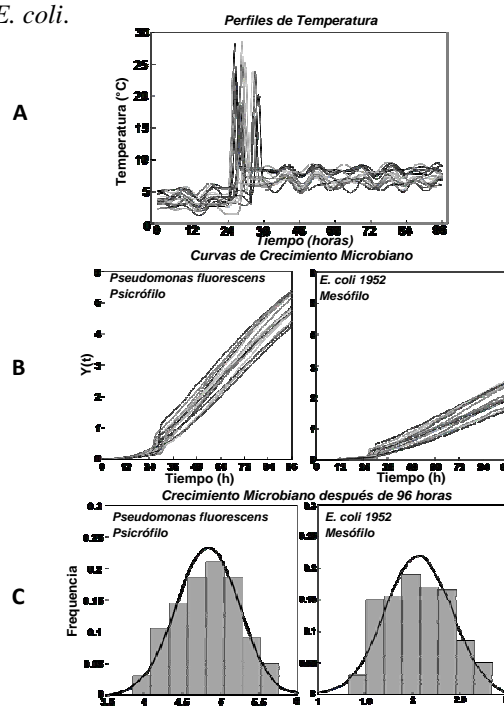


Figura 7. Perfiles de temperatura simulados (A), predicciones de crecimiento de un microorganismo, psicrófilo y otro mesófilo, bajo esas condiciones (B) e histogramas de los valores de carga microbiana después de 96 horas a esas temperaturas (C).

Si se utilizan las predicciones de crecimiento de ambos microorganismos y se calcula la carga microbiana, por ejemplo, luego de 96 horas para cada uno de los perfiles de temperatura se obtendrá una serie de valores cuya distribución de frecuencia esta graficada en la Figura 7-C. Dichos histogramas nos permiten inferir la probabilidad de que encontrar una unidad inaceptable para el consumo. El criterio que puede emplearse y que normalmente se asocia

con la finalización de la vida útil de un producto alimenticio es un incremento de al menos 5 ciclos logarítmicos en la carga microbiana [2]. Al observar la Figura 7-C se puede llegar a la conclusión que aproximadamente el 35 % de las unidades que fueron almacenadas por 96 horas serán inaceptables para el consumo debido a un excesivo crecimiento de *Pseudomonas fluorescens* (incremento de más de 5 ciclos logarítmicos).

4. Conclusiones

La utilización de modelos que describen con mayor precisión la cinética de los procesos microbiológicos y bioquímicos de interés permitió obtener excelentes predicciones bajo condiciones no isotérmicas.

Los programas desarrollados en Microsoft Excel® que se encuentran disponibles como freeware fueron validados por comparación con datos experimentales. La disponibilidad de dichos programas posiblemente facilite a las empresas el tratamiento de datos experimentales de vida útil de una manera más adecuada y extensiva. Asimismo, el empleo de estos recursos posibilita la reducción de tiempos y costos en el desarrollo de nuevo productos o la implementación de nuevos procesos. Si bien el empleo de este tipo de programas puede resultar en mayor efectividad es necesario recordar que una validación empírica es siempre necesaria.

La aplicabilidad de esta metodología no se limita al sector empresarial sino que también puede ser empleada como una herramienta educativa para ejemplificar lo que sucede bajo diversos escenarios, por ejemplo la interrupción de una cadena de frío o el manejo inadecuado de alimentos.

Por último, el empleo de estos programas para evaluar el efecto potencial de fluctuaciones en las condiciones de almacenamiento/ transporte ha sido testeado y si bien esta metodología permite obtener un panorama probabilístico de los riesgos que se presentan durante la vida útil de un producto, sería necesario, de ser posible, realizar una comprobación empírica para incrementar la confiabilidad y aplicabilidad de la misma.

5. Referencias

- [1] Labuza, T.P. FScN 8334, Reaction Kinetics of Food Deterioration. 2000. Disponible en: http://courses.che.umn.edu/00fscn8334-1f/FScN8334_Reading.html
- [2] Steele, R. ed. *Understanding and measuring the shelf-life of food*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2004.
- [3] Corradini, M.G., and Peleg, M. "Estimating non-isothermal bacterial growth in foods from isothermal experimental data". *Journal of Applied Microbiology*, 99, 2005, pp. 187-200.
- [4] Corradini, M.G., and Peleg, M. "A model of non-isothermal degradation of nutrients, pigments and enzymes". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 2004, pp. 217-226.
- [5] Kong, F.B., Tang, J.M., Rasco, B. and C. Crapo. "Kinetics of salmon quality changes during thermal processing". *Journal of Food Engineering*, 2007, 83, pp. 510-520.
- [6] Peleg, M. *Advanced quantitative microbiology for food and biosystems: Models for predicting growth and inactivation*. Boca Raton FL: CRC Press, 2006.
- [7] Peleg, M., Corradini, M.G., and Normand, M.D. "Kinetic models of complex biochemical reactions and biological processes". *Chemie Ingenieur Technik*, 76, 2004, pp. 413-423.
- [8] McMeekin, T.A., Olley, J.N., Ross, T., and Ratkowsky, D.A. *Predictive microbiology: Theory and application*, New York, NY, John Wiley & Sons. 1993.
- [9] Corradini, M.G., Amézquita, A. and Peleg, M. "Modeling and predicting non-isothermal microbial growth using general purpose software." *International Journal of Food Microbiology*, 106 2006, pp. 223-228.
- [10] Corradini, M.G., Normand, M. D. and Peleg, M. "Non-linear kinetics: Principles and potential food applications". *Food engineering: integrated approaches*. Springer Verlag, NY, 2008. pp. 47-72.
- [11] Fujikawa, H., Kai, A., and Morozumi, S. "A new logistic model for *E. coli* growth at constant and dynamic temperatures". *Food Microbiology*, 21, 2004, pp. 501-509.
- [12] Giannakourou, M.C., and Taoukis, P.S. "Kinetic modeling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions". *Food Chemistry*, 83, 2003, pp. 33-41.
- [13] Umme, A., Bambang, S.S., Salmah, Y, Jamilah, B. "Effect of pasteurisation on sensory quality of natural soursop puree under different storage conditions". *Food Chemistry*, 75, 2001, pp. 293-301
- [14] Van Boekel, M. "Kinetic modelling of food quality: A critical review". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 2008, pp. 144-158.
- [15] Nauta, M.J., Litman, S., Barker, G.C., and Carlin F. "A retail and consumer phase model for exposure assessment of *Bacillus cereus*". *International Journal of Food Microbiology*, 83, 2003, pp. 205- 218.