



Diseño de un texturizado multisápido
a base de frutas tropicales
y biopolímeros de algas
*The creation of texturized multiflavored
product using tropical fruits
and algae biopolymers*

FÉLIX R. MILLÁN T.¹

fmillan@usb.ve

Universidad Simón Bolívar

JORGE E. RAMÍREZ V.²

jramente@gmail.com

Universidad Central de Venezuela

Recibido: 06/06/2012

Aceptado: 13/07/2012

Resumen

El consumo de frutas y productos derivados es de gran importancia para la salud humana de acuerdo con los últimos informes de la Organización Mundial de la Salud, debido al aporte de compuestos nutritivos y no nutritivos. En tal sentido, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar un texturizado a base de pulpas de durazno y mango y mediante el uso de biopolímeros de algas como fase discontinua.

¹ Profesor Titular, Universidad Simón Bolívar, Dpto. Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, Sección de Ingeniería de Alimentos.

² Estudiante de Postgrado, Universidad Central de Venezuela, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.



Mediante diseño de mezcla Simplex Lattice se optimizó el uso de las pulpas en el producto con base en la aceptabilidad sensorial, lográndose la incorporación de 40,86% de pulpa de mango, 31,36% de pulpa de durazno, 17,85% de fructosa y 9,92% de agua, para la fase discontinua, que a su vez representó 58,60% del texturizado. El producto desarrollado se sometió a pruebas de estabilidad, siendo la cinética de orden cero del parámetro b del color la que permitió definir la vida útil del producto, que resultó ser de 61 días a 5 °C.

Palabras clave: texturizado de frutas, mango, durazno, diseños de mezcla.

Abstract

The consumption of fruits and derived products is very important for human health, according to latest reports of World Health Organization, because of the nutritive and non nutritive compounds contribution. The aim of this work was to develop a textured food based on mango and peach pulps as discontinuous phase and marine biopolymers as continuous phase. A mixture design Simplex Lattice was developed in order to optimize, according to sensory acceptability, the use of pulps in the product obtaining a formulation of discontinuous phase composed by 40.86% of mango pulp, 31.36% of peach pulp, 17.85% of fructose and 9.92% of water, which represents 58.60% of the whole product. The final product was tested for stability in storage, being the zero kinetic of color b parameter what defined the self life which was of 61 days under storage at 5°C.

Keywords: fruit textured, mango, peach, mixture designs

Introducción

La tendencia en el consumo de alimentos a escala mundial, exhibe un patrón global orientado hacia el incremento en la ingesta de grasas totales, productos animales y carbohidratos simples, en detrimento del



consumo de productos de origen vegetal y más específicamente de frutas y hortalizas (Bermúdez y Tucker, 2003).

La disminución en la ingesta de frutas y hortalizas supone una reducción en la disponibilidad de micronutrientes y fitoquímicos en la población y, por consiguiente, un aumento del riesgo de padecer enfermedades degenerativas crónicas no transmisibles (EDCN) como las patologías cardiovasculares, el cáncer y la diabetes, dada la capacidad de los nutrientes y fitoquímicos presentes en los alimentos de origen vegetal para modular el estrés oxidativo; denominador común en la etiopatogenia de las EDCN (Farr, 1997; FAO, 2007a).

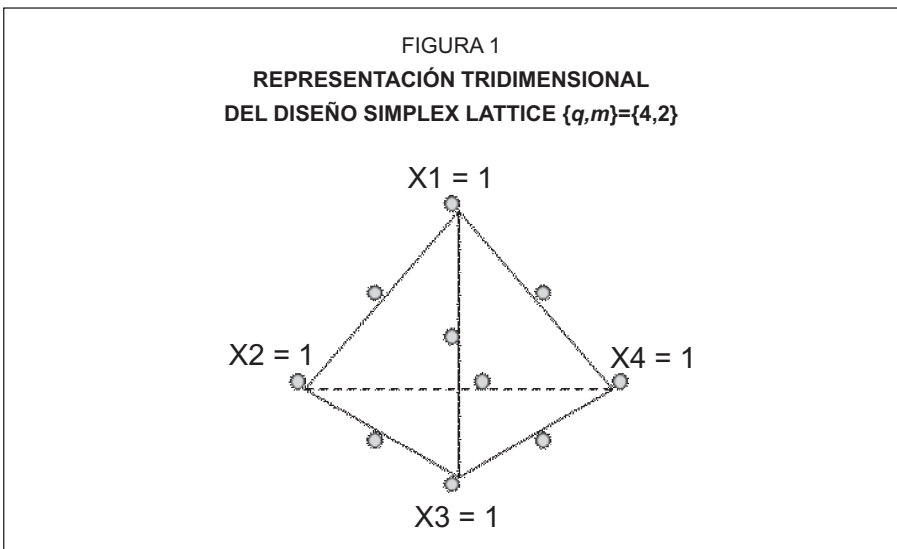
La Organización Mundial de la Salud (OMS), consciente de las implicaciones que conlleva la reducción crónica en el consumo de frutas y hortalizas, ha recomendado un consumo mínimo de 400 g. diarios por persona, aun cuando la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) estima que a nivel mundial, la población sólo consume entre el 20% y el 50% de la ingesta mínima recomendada por la OMS (FAO, 2007b). A esta situación se suma el elevado porcentaje de pérdidas post-cosecha, el cual llega a estimarse hasta en 50% en algunos países subdesarrollados (FAO, 2007b).

Las pérdidas post-cosecha de frutas y hortalizas pueden ser efectivamente disminuidas mediante el fortalecimiento del sector secundario de la economía, por cuanto estabiliza y añade valor a la producción primaria y mejora la gestión post-cosecha. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo el diseño y desarrollo de un texturizado funcional multisápido a base de durazno y mango, mediante el empleo de biopolímeros de algas y la evaluación de su estabilidad durante el almacenamiento, como un enfoque novedoso al desarrollo de texturizados de fruta, cuyos desarrollos previos han estado enfocados en la utilización de una sola pulpa de fruta en la fase discontinua del gel y en el estudio de las condiciones de formación y fuerza de gel resultante (Weiner y Nussinovitch, 1994; Grizotto y col., 2007).

Materiales y métodos

Diseño experimental

Se utilizaron dos diseños Simplex Lattice (Gacula, 1993; Myers y Montgomery, 2002) en la experimentación (figura 1). Mediante el primer diseño $\{q,m\}=\{4,2\}$ se determinó la composición del jugo a utilizar como fase discontinua en la formulación del texturizado. Para ello se evaluaron cuatro ingredientes: concentración de pulpa de durazno (*Prunus pérsica*), concentración de pulpa de mango (*Mangifera indica*), fructosa y agua. Las pulpas, suministradas por un mismo proveedor comercial, se obtuvieron mediante la despulpadora del Laboratorio de Operaciones Semi-Industriales del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Central de Venezuela, a partir de frutos con características similares de madurez y sin lesiones externas. A partir del segundo diseño $\{q,m\}=\{4,2\}$ se utilizó la combinación óptima de pulpas resultante en el primer diseño, para su utilización como variable de formulación en la fabricación del texturizado. En tal sentido, se utilizaron como variables





de formulación en el segundo diseño: concentración de mezcla de pulpas, carragenina, fructosa y agua. La notación $\{q, m\}$ implica que se utilizaron diseños Simplex Lattice de q componentes y se ajustaron polinomios de grado m para la creación de las superficies de mezcla (Ecu. 1, 2 y 3).

Mezcla lineal

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \quad \text{Ecu. 1}$$

Mezcla cuadrática

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{i < j}^q \beta_{ij} x_i x_j \quad \text{Ecu. 2}$$

Mezcla cúbica especial

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j=2} \sum_{i < j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k=2} \sum_{i < j < k=2}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad \text{Ecu. 3}$$

Cada diseño experimental estuvo conformado por 10 formulaciones, generadas a partir de la ecuación 3, cada una de las cuales se repitió tres veces en la matriz del diseño. A su vez, para cada formulación se evaluó la aceptabilidad global mediante una escala hedónica no estructurada de 10 cm, en donde participaron 15 panelistas semi-entrenados.

$$N = \frac{(q + m - 1)!}{m! (q - 1)!} \quad \text{Ecu. 4}$$

Fabricación del texturizado de frutas

Para la elaboración del texturizado se utilizó la carragenina como biopolímero de alga, marca comercial Genu@ texturizer type MB-150FCP, San Diego, California, y lactato de calcio grado analítico. La mezcla óptima de pulpas de fruta resultante del primer diseño experimental (Tabla 1) se mezcló con la carragenina (de acuerdo con las distintas concentraciones establecidas en el segundo diseño experimental) y el lactato de calcio en polvo en agitación constante, mediante un homogeneizador Ultraturrax T-25 marca Ika, manteniendo la temperatura de la mezcla en 45 °C. Las distintas formulaciones se colocaron en vasos plásticos con sello hermético y se almacenaron a 5 °C a fin de propiciar el proceso de gelificación. A la mezcla óptima resultante del segundo diseño experimental se le incorporó -tocoferol (30 mg/g), ácido decosaheptaenoico y ácido eicosaenoico (280 mg/g) como ingredientes funcionales, en base a una prueba sensorial de umbral, a fin de no alterar las características sensoriales del producto formulado.

Estabilidad del producto terminado

El producto terminado se almacenó a tres temperaturas de refrigeración: 5 °C, 10 °C y 15 °C (Fennema, 1993), y se tomaron muestras por duplicado cada siete días durante un período de almacenamiento de seis semanas, durante las cuales se determinó la concentración de aerobios mesófilos, mediante siembra en agar *Plate Count*, de acuerdo con la metodología establecida en la norma COVENIN N° 902-87 (COVENIN, 1987), mohos y levaduras mediante siembra en medio Diclorán Rosa de Bengala Cloranfenicol.

Adicionalmente se cuantificaron las siguientes variables físicas y químicas: acidez titulable, de acuerdo con la metodología descrita en la norma COVENIN N° 1151-77 (COVENIN, 1977), acidez iónica mediante la utilización de un potenciómetro digital (HANNA Instruments®, EE.UU., modelo pH 2111), calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4 y 7. También se determinó la actividad de agua mediante un equipo de punto



TABLA 1

DISEÑO DE MEZCLA PARA LA GENERACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE LA MEZCLA FUNCIONAL A SER EVALUADOS SENSORIALMENTE

Mezcla	Pulpa 1 (%)	Pulpa 2 (%)	Edulcorante (%)	Agua (%)
1	39,58	39,58	9,52	11,33
2	52,07	20,00	11,47	16,47
3	72,67	20,78	5,78	0,78
4	40,44	40,44	5,00	14,11
5	29,79	37,29	7,26	5,67
6	56,12	30,95	7,26	5,67
7	20,78	72,67	5,78	0,78
8	33,33	33,33	20,00	13,33
9	20,00	52,07	11,47	16,47
10	25,00	25,00	10,00	40,00

Pulpa 1: pulpa de mango. Pulpa 2: pulpa de durazno

de rocío Aqualab CX-2 (Decagon Devices, EE.UU.) y color mediante la medición de los parámetros de la Commission International de l'Eclairage (CIE): L, a y b, mediante un espectrofotómetro marca Macbeth (modelo color-eye 2445), utilizando un iluminante D65 y un observador de 10°.

Durante el período de almacenamiento se evaluó la aceptabilidad global del producto mediante una escala hedónica no estructurada de 10 cm, utilizando para ello 15 panelistas semi-entrenados.

Resultados y Discusión

En la tabla 2 se muestra el análisis de varianza del diseño de mezcla para la optimización de la fase discontinua del texturizado. En tal sentido, la construcción de un modelo cuadrático de mezcla –una vez comprobados los principios de distribución normal, independencia y homogeneidad

de varianza de los residuales— resultó satisfactoria para definir el espacio predictivo de mezcla a partir de los datos experimentales de aceptabilidad global. La descomposición del término de error en el modelo evidencia una falta de ajuste no significativa, por lo que el modelo puede explorarse de manera satisfactoria.

Como puede observarse a partir del signo algebraico de los coeficientes parciales de regresión, se evidencia una relación de sinergia entre las pulpas de mango y durazno y el edulcorante utilizado en la formulación.

La exploración de las superficies de respuesta que se muestran en la figura 2, lleva a encontrar una región de respuesta óptima para la aceptabilidad global alrededor de 40,86% de pulpa de mango, 31,36% de pulpa de durazno, 17,85% de fructosa y 9,92% de agua, constituyéndose en la formulación a emplear en el segundo diseño experimental.

TABLA 2

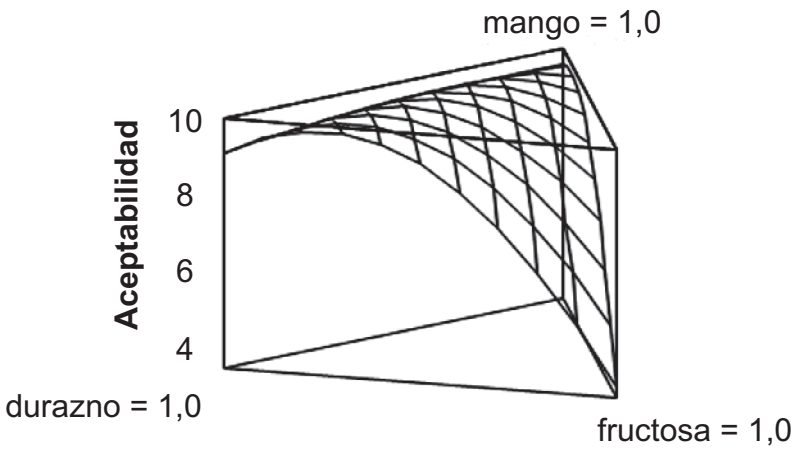
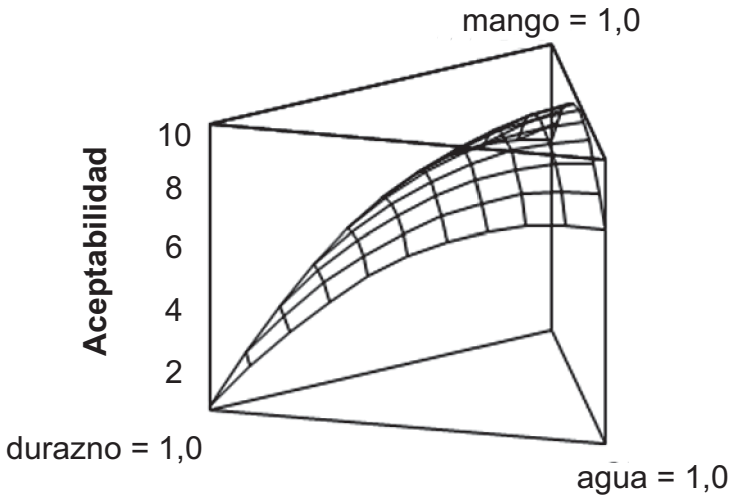
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL MODELO CUADRÁTICO DE MEZCLA PARA LA FASE DISCONTINUA DEL TEXTURIZADO.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Modelo cuadrático	35,924	9	3,991	14,26	0,0005
Falta de ajuste	3,958	12	0,329	1,18	0,4196
Error puro	2,239	8	0,279		
Análisis de los términos del modelo cuadrático					
Términos del modelo	Coefficientes de regresión	Prueba T para $H_0: \beta_{ij} = 0$		p	
X_1X_3	211,750	3,6096		0,0017	
X_2X_3	270,04	4,5518		0,0002	
X_3X_4	176,208	3,0512		0,0063	
X_1	0,03448	No aplica			
X_2	-11,8329	No aplica			
X_3	-143,136	No aplica			
X_4	1,51404	No aplica			

X_1 : Pulpa de mango, X_2 : pulpa de durazno, X_3 : fructosa, X_4 : agua.



FIGURA 2
SUPERFICIE DE MEZCLA PARA LA FASE DISCONTINUA DEL TEXTURIZADO



A partir del segundo diseño experimental se procedió a optimizar la totalidad del texturizado, considerando como variables: la proporción de fase discontinua en la formulación del gel (X_1), y las proporciones de carragenina (X_2), fructosa (X_3) y agua (X_4).

En la tabla 3 se muestra el análisis de varianza del segundo diseño. Como puede observarse, el modelo matemático apropiado para describir el espacio de mezcla fue la ecuación de mezcla cúbica especial, presentando una falta de ajuste no significativa al descomponer el término de

TABLA 3
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL MODELO DE MEZCLA CÚBICO ESPECIAL
PARA LA FORMULACIÓN DEL TEXTURIZADO

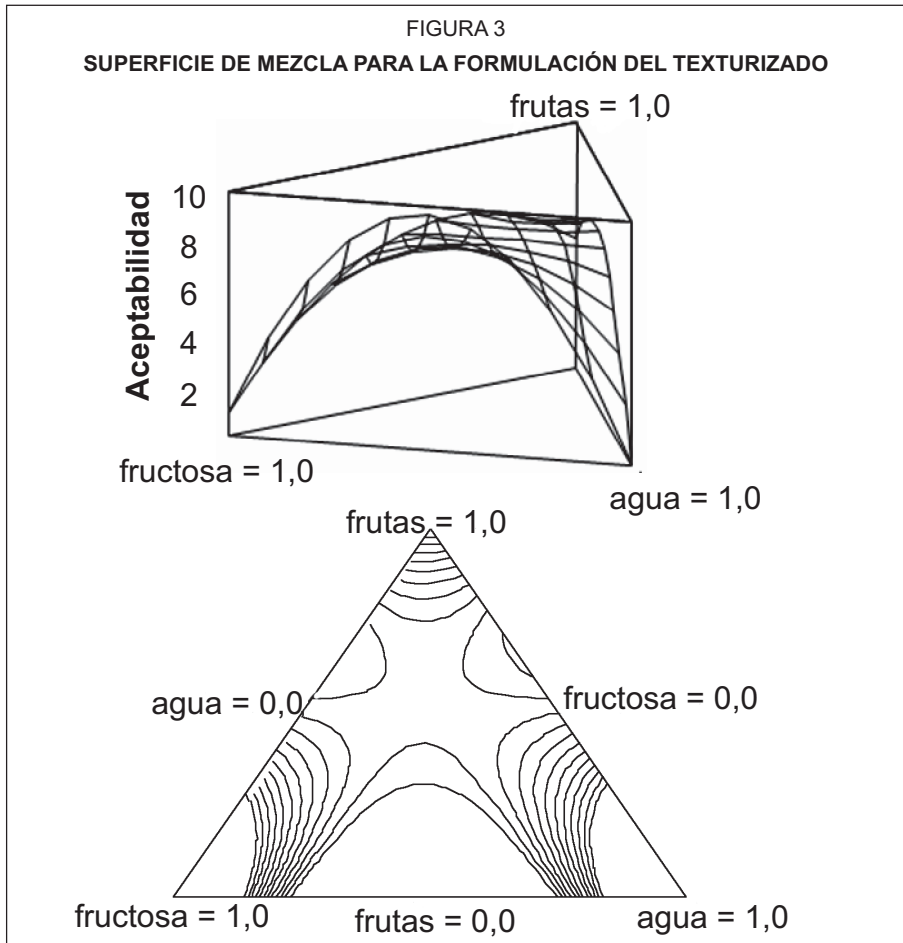
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Modelo cúbico especial	12,706	7	1,815	4,01	0,0352
Falta de ajuste	6,312	13	0,485	1,07	0,4791
Error puro	3,630	8	0,453		
Análisis de los términos del modelo cúbico especial					
Términos del modelo	Coefficientes de regresión	Prueba T para $H_0: \beta_{ij} = 0$		p	
X_1X^3	1494,69	3,018		0,0065	
X_1X_4	1653,29	3,175		0,0046	
X_3X_4	3663,39	2,973		0,0073	
$X_1X_3X_4$	-6896,01	-3,040		0,0062	
X_1	-159,411	No aplica			
X_2	-10,536	No aplica			
X_3	-596,992	No aplica			
X_4	-683,193	No aplica			

X_1 : proporción de fase discontinua, X_2 : carragenina, X_3 : fructosa, X_4 : agua



error en la prueba de bondad de ajuste. Es importante destacar la relación de sinergia entre el porcentaje de participación de la fase discontinua del gel y la concentración de fructosa utilizada en la formulación, y entre aquella y la proporción de agua utilizada en la mezcla.

A partir de la exploración de las superficies de mezcla (figura 3) se obtuvo la formulación del texturizado con 58,60% de fase discontinua, conformada por la global del producto.



Es importante destacar, como se observa en la figura 3, el delicado equilibrio entre los porcentajes de fructosa y agua utilizados en el texturizado, por cuanto un aumento relativamente pequeño de su participación en la mezcla, más allá de los valores dados anteriormente, suscita una notoria disminución de la aceptabilidad del producto.

Durante el tiempo transcurrido en el estudio de estabilidad del texturizado, se evidenció la estabilidad microbiológica del producto al obtener conteos menores a 100 ufc/g para aerobios mesófilos, mohos y levaduras. De igual forma, la actividad de agua del producto se mantuvo alrededor de 0,96 y la acidez iónica y titulable fue de 4,2 y 0,70%, respectivamente, durante la mayor parte del tiempo del estudio de estabilidad; sólo se registraron pequeñas fluctuaciones que pueden ser consideradas, de acuerdo con el análisis estadístico como aleatorias.

La variable de calidad que fluctuó durante el estudio, y que en consecuencia determina la vida útil del texturizado, fue el parámetro b del color. Para las tres temperaturas de estudio el parámetro b tiende a disminuir en el tiempo, lo cual significa que el producto se hace menos amarillo en el almacenamiento (figura 4), haciéndose más notoria la disminución a los 15 °C.

Como se observa en la figura 4, la reducción del parámetro de color b sigue una cinética de orden cero en el rango de temperatura considerado en el estudio de estabilidad, es decir, su tasa de disminución es constante en el tiempo (Labuza, 1982), (Ecu. 5, 6 y 7)

$$\frac{dy}{dy} = K_T y^0 \quad \text{Ecu. 5}$$

Donde dy/dx es la velocidad de disminución del parámetro b y K_T es la constante cinética, dependiente de la temperatura, de b . Integrando

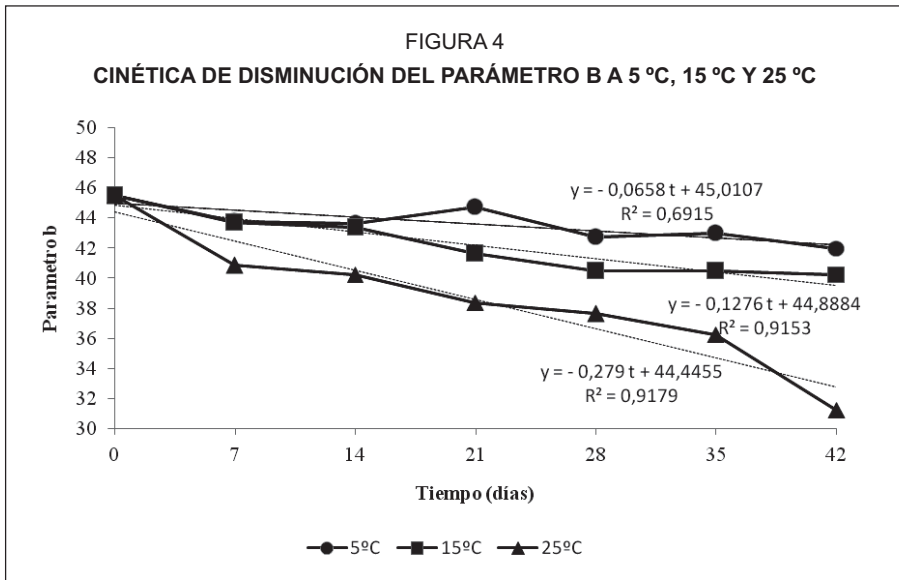
$$\int_{y^0}^y dy = -K_T \int_0^t dt \quad \text{Ecu. 6}$$



finalmente

$$y = K_T t + y^0$$

Ecu. 7



Como puede observarse a partir de las ecuaciones insertas en la figura 4, la constante cinética de pérdida del parámetro de color b incrementa, como es de esperarse, a medida que también lo hace la temperatura de almacenamiento. Esta relación puede modelarse mediante la ecuación de Arrhenius (Ecu. 8).

$$K = K_0 e^{\frac{E_a}{RT}}$$

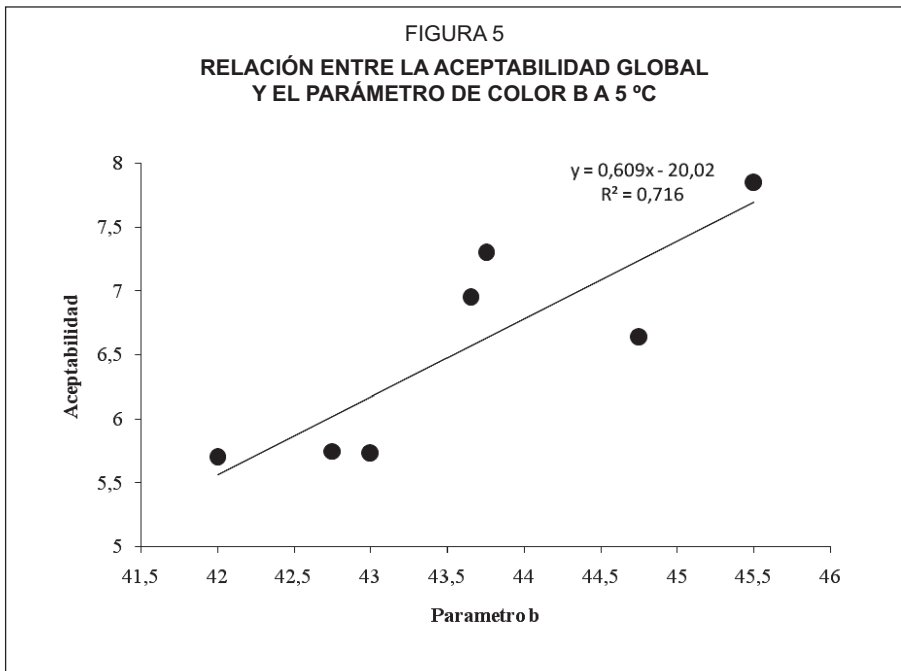
Ecu. 8

Dado que la vida útil del texturizado es una función de la constante cinética K_T , la ecuación 8 puede re-escribirse de la siguiente forma

$$\theta = \theta_0 e^{\frac{E_a}{RT}}$$

Ecu. 9

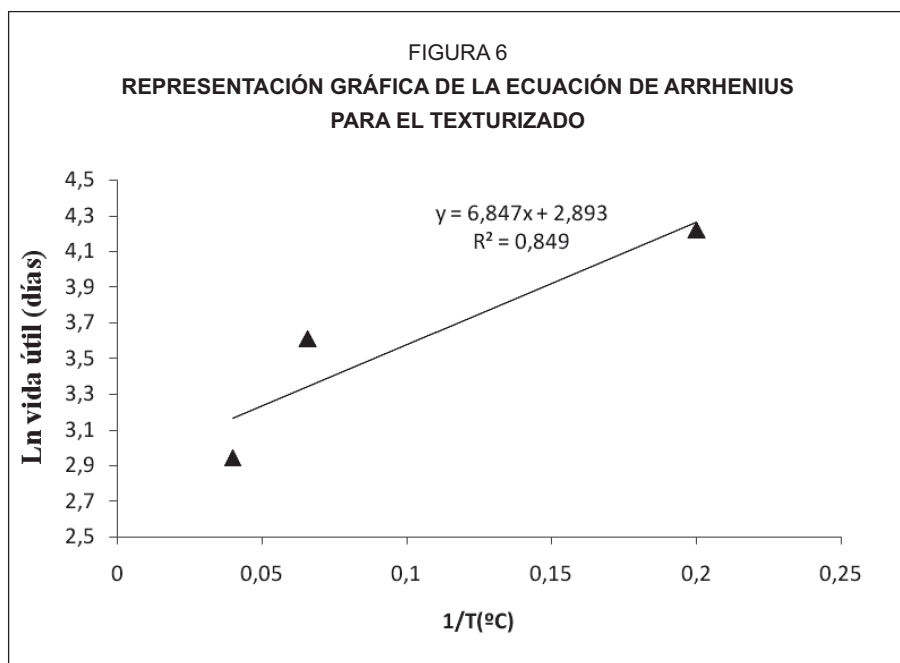
Donde θ es la vida útil del producto. A fin de establecer un valor límite para el parámetro b , que pueda relacionarse con el fin de la vida útil, se relacionó la aceptabilidad global del texturizado almacenado a 5 °C con la magnitud del parámetro b ;



Considerando que se trabajó con una escala no estructurada de 10 cm, se estableció el punto medio de la misma como la manifestación de indiferencia en relación al color del producto, por lo que para esa magnitud, un valor del parámetro b de aproximadamente 41 puede ser considerado como límite para calcular la vida útil del texturizado.



Tomando como base la cinética de la figura 4, la vida útil del texturizado a 5 °C, 15 °C y 25 °C, resultó de 61, 30 y 12 días respectivamente. En la figura 6 se puede observar la representación gráfica de la ecuación 9.



Como puede observarse, el ajuste obtenido fue bastante cercano a la linealidad necesaria para que la ecuación de Arrhenius tenga utilidad predictiva para otras temperaturas de almacenamiento no experimentadas, que puedan ayudar incluso a predecir el porcentaje de pérdida de vida útil ante fluctuaciones de la cadena de frío

A partir de la figura 6, se obtuvo una energía de activación (E_a) para la pérdida del parámetro b de 13,59 Kcal/mol, la cual es bastante cercana a la obtenida por Ponting *et al.*, 1960 ($E_a = 15,1$ Kcal/mol), en jugo de fresa y por Czapski, 1976 ($E_a = 12,3$ kcal/mol), en jugo de manzana concentrado.

Por último, el Q_{10} del texturizado, tomando como criterio cinético la pérdida del parámetro b de color fue de 1,87, calculado con base en la ecuación 10:

$$Q_{10} = \frac{\theta_a T}{\theta_a T + 10 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad \text{Ecu. 10}$$

Dicho valor, representa que la vida útil del producto aumenta o disminuye por un factor de 1,87 al disminuir o aumentar, respectivamente, la temperatura de almacenamiento en 10 °C.

La importancia de este trabajo se sustenta en el desarrollo de una metodología científica basada en el diseño estadístico de experimentos, el cual ha sido aplicado en texturizados cárnicos (Modi y Prakash, 2008), y el enfoque cinético de estimación de vida útil, para el desarrollo de un producto a base de dos frutas producidas en Venezuela, al tiempo que se plantea una propuesta de industrialización de dos rubros frutícolas, escasamente considerados por el sector secundario de la economía nacional, a través de la formación de un texturizado que posee como valor inherente la combinación de cualidades nutricionales y funcionales de las frutas utilizadas en la formulación, además del aporte de fibra dietética que representa la incorporación de un polímero de alga como agente para la formación de la fase continua del gel, lo cual constituye una innovación tecnológica de importancia (Blasa y col., 2010). Es importante destacar que los estudios previos en productos similares se han basado en el desarrollo de texturizados con una sola pulpa de fruta (Weiner y col., 1994; Mouquet y col., 1997; Espirito Santo y col., 2011), y han estado orientados al análisis de las condiciones de formación del gel y al estudio de su fuerza y capacidad de retención de líquido ante fuerzas de compresión (Weiner y col., 1994; Roopa y Bhattacharya, 2010).



Referencias

- BERMÚDEZ, O.L. y TUCKER, K.L. (2003). Trends in dietary patterns of latin american populations. *Salud Pública*, 19 (1): pp. 87-99.
- BLASA; GENNARI, L.; ANGHINO, D. y NINFALI, P. (2010). Fruit and vegetable antioxidants in health. En: *Bioactive foods in promoting health – fruits and vegetables*. pp. 37-88.
- COVENIN (1977). *Frutas y productos derivados. Determinación de acidez*. Norma 1151-77.
- COVENIN (1987). *Método para recuento de colonias de bacterias aerobias en placas de petri* (segunda revisión). Norma 902-87.
- CZAPSKI, J. (1976). The influence of clarification, concentration and temperatura on changes occurring during storage of concentrated Apple juice. *Acta Alimentaria Polonica*. 2. 4.
- ESPIRITO SANTO, A.; PEREGO, P.; CONVERTI, A y OLIVEIRA, M. (2011). Influence of food matrices on probiotic viability – a review focusing on the fruit bases. *Trends in Food Science & Technology*. 22(7). pp. 377-385.
- FAO (2007a). Grasas y aceites en la nutrición humana. Consulta FAO/OMS de expertos, Roma 19-26, octubre de 1993. Web: www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s0i.htm.
- FAO (2007b). Más frutas y hortalizas. Web: www.fao.org/AG/esp/revista/0606sp2.htm.
- FARR, D. (1997). Functional foods. *Cancer Letters*. 114: 59-63.
- FENNEMA, O.R. (1993). Estudio integrado de la química de los alimentos: ejemplos típicos. En: *Química de los alimentos*, Editorial Acribia. España.
- GACULA, M.C. (1993). Product optimization. En: *Design and analysis of sensory optimization*. Food & Nutrition Press. EE. UU.
- GRIZOTTO, R.; BRUNS, R.; DE AGUIRRE, J. y DE MENEZES, H. (2007). Technological aspects for restructuring concentrated pineapple pulp. *LWT-Food Science and Technology*. 40(5). pp. 759-765.
- LABUZA, T.P. (1982). *Shelf life dating of foods*. Food & Nutrition Press, EE.UU.
- MODI, V. y PRAKASH, M. (2008). Quick and reliable screening of compatible ingredients for the formulation of extended meat cubes using plackett-Burman design. *LWT-Food Science and Technology*. 41(5). pp. 878-882.



- MOUQUET, C.; AYMARD, C.; GUILBERT, S.; CUVELIER G. y LAUNAY, B. (1997). Influence of initial pH on gelation kinetics of texturized passion fruit pulp. *LWT-Food Science and Technology*. 30(2). pp. 129-134.
- MYERS, R.H. y MONTGOMERY, D.C. (2002). Experiments with mixtures. En: *Response surface methodology. Process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons, Inc., EE.UU.
- PONTING, J.D.; SANSHUCK, D.W. y BREKKE, J.E. (1960). Color measurement and deterioration in grape and berry juices and concentrates. *Food Research*. 25, pp. 471-478.
- ROOPA, B. y BHATTACHARYA, S. (2010). Texturized alginate gels: screening experiments to identify the important variables on gel formation and their properties. *LWT-Food Science and Technology*. 43(9). pp. 1403-1408.
- WEINER, G. y NUSSINOVITCH, A. (1994). Succulent, hydrocolloid-based, texturized grapefruit products. *LWT-Food Science and Technology*. 27(4). pp. 394-399.