
APLICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAR LA CADUCIDAD DEL ZUMO DE TOMATE DE ÁRBOL

Gabriela Aillón, Eduardo Sánchez
gbiza2@hotmail.com; esanchezs_ec@yahoo.com

Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Casilla 17-01-3972
Recibido: 15 diciembre 2014 Aceptado: 2 marzo 2015

RESUMEN

Determinación de la caducidad del zumo de tomate de árbol, con ayuda de modelos matemáticos. Para ello, el zumo fue almacenado a la temperatura ambiente y de refrigeración, en envases de plástico y de vidrio, con y sin la adición de antioxidantes. Se determinó la estabilidad del zumo mediante la cuantificación de °Brix, pH, acidez y el análisis sensorial del mismo. Se elaboraron los modelos matemáticos a partir de las características fisicoquímicas medidas experimentalmente, observando que presentan un orden de reacción 2 para la variable °Brix y un orden de reacción 0 para las variables pH y acidez, para todos los tratamientos.

Los modelos matemáticos obtenidos, permiten predecir la caducidad del zumo de tomate de árbol como alimento inocuo y nutritivo en las condiciones estudiadas, observando que la tendencia de sólidos solubles °Brix y acidez es decreciente en función del tiempo, mientras que el pH presenta una tendencia creciente.

PALABRAS CLAVES: Tomate de árbol; *Solanum betaceum*; Deterioro de alimentos; Modelos matemáticos; Almacenamiento; Zumo de frutas.

ABSTRACT

This study is focused on the application of mathematical models for determining the expiration of tree tomato juice. To this end, the juice was stored at both room and cooling temperatures, in both plastic and glass containers, with and without the addition of antioxidants. The stability of the juice was determined by quantifying °Brix, pH, and acidity and by means of a sensory analysis of the juice. Mathematical models were developed from experimentally measured physicochemical characteristics, showing an order of reaction 2 for the °Brix variable and an order of reaction 0 for pH and acidity variables for all treatments.

The mathematical models obtained make it possible to predict the expiration of the tree tomato juice as a safe and nutritious food under the studied conditions and to observe that the trend of soluble solids ° Brix and acidity is to decrease with time, while the pH shows an upward trend.

KEYWORDS: Tree Tomato; *Solanum betaceum*; Food Spoilage; Mathematical Models; Storage; Fruit Juices.

1. INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*) es una planta nativa de América del Sur. En el Ecuador, en los últimos años ha tenido una creciente demanda para consumo en fresco y uso industrial, por las características físicas, nutritivas y organolépticas de sus frutos.

Actualmente la gestión de calidad e inocuidad de los alimentos es clave para conseguir la confianza del producto.

La calidad implica muchos aspectos del alimento, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y referentes a la inocuidad. En el instante en el cual, uno de estos requisitos se considera como inaceptable, el producto llega al fin de su vida útil.

Los estudios de determinación de la vida útil son fundamentales en el sector alimentario. Se recurre a ellos para lanzar un nuevo producto y para evaluar cómo afectan los cambios de procesos de producción o las reformulaciones en la estabilidad de alimentos ya consumidos.

En los últimos años existe la necesidad de plantear modelos matemáticos, que caractericen a la variación, descomposición, deterioro de los componentes de los alimentos y determinar a qué se debe la finalización de su vida útil.

El objetivo de esta investigación es determinar los factores que influyen en la caducidad del zumo de tomate de árbol, para lo cual se procede a medir los °Brix, pH y acidez a diferentes condiciones de temperatura, con y sin adición de antioxidantes, durante el almacenamiento en dos tipos de envase y determinar los modelos matemáticos que permiten predecir la caducidad del zumo en referencia.

2. CINÉTICA DEL DETERIORO DE LOS ALIMENTOS

“La vida útil de un alimento es el periodo de tiempo en el cual, con unas circunstancias

definidas, el producto mantiene los requisitos de calidad específicos. El concepto de calidad engloba aspectos organolépticos o sensoriales, como el sabor o el olor, nutricionales, como el contenido de nutrientes, o higiénico-sanitarios, relacionados de forma directa con el nivel de seguridad alimentaria.

Estos aspectos hacen referencia a los distintos procesos de deterioro de los elementos: físicos, químicos y microbiológicos, de tal manera que en el momento en el cual alguno de los requisitos de calidad se considera inaceptable, el producto habrá llegado al fin de su vida útil.

Los estudios de determinación de la vida útil deben adaptarse a cada producto concreto para determinar los cambios que experimenta durante su conservación y que influyen en su calidad. Para ello, se toman como referencia los límites establecidos por la ley en cuanto a los resultados analíticos y la valoración de los expertos mediante paneles de cata. Resulta de gran interés develar la variable cuyo cambio identifica el consumidor en primer lugar, que la relaciona con una disminución en la calidad del alimento con cambios de color, sabor, textura o rancidez del producto. En estos estudios, es necesario analizar la velocidad de los procesos de reacción asociada a esas variables, que dependerá en gran medida de las condiciones ambientales”[1].

“La cinética de deterioro de los alimentos se puede expresar matemáticamente aplicando los principios fundamentales de la cinética química. Los cambios de calidad de los alimentos pueden en general, expresarse como una función de la composición de los mismos y de los factores ambientales:

$$\frac{dQ}{dt} = F(C_i, E_j)$$

donde C_i son factores de composición, tales como concentración de algunos compuestos de reacción, enzimas, pH, actividad de agua, así como población microbiana y E_j son factores ambientales tales como temperatura, humedad

relativa, presión total y parcial de diferentes gases y luz entre los más importantes.

La metodología de trabajo consiste en identificar primero las reacciones químicas y biológicas que influyen en la calidad y seguridad del alimento. Entonces a través de un estudio cuidadoso de los componentes del alimento y del proceso, se determinan las reacciones que se consideran que presentan el impacto más crítico”[2].

“Debido a la naturaleza compleja de los alimentos, es difícil determinar mecanismos de las reacciones intermedias que llevan a un particular cambio en la calidad. En la práctica, la degradación de los alimentos y en consecuencia pérdida de vida útil está representada por la pérdida de los requisitos de calidad deseados (Q_d) por ejemplo: nutrientes, sabor característico, etc. o por la formación de factores de calidad indeseables (Q_i), por ejemplo: decoloración, flavor desagradable, etc. Según lo dicho anteriormente, la pérdida de Q_d y la formación de Q_i vendrán expresadas por:

$$-\frac{d[Q_d]}{dt} = k[Q_d]^n \quad (1)$$

$$+\frac{d[Q_i]}{dt} = k'[Q_i]^{n'} \quad (2)$$

donde $[Q_d]$ y $[Q_i]$ son normalmente parámetros químicos, físicos, microbiológicos o sensoriales cuantificables de un sistema alimentario concreto, k y k' son las constantes aparentes o pseudo constantes de velocidad de reacción y n y n' son los órdenes aparentes o pseudo órdenes de la reacción.

Los órdenes y las constantes aparentes de velocidad de reacción se determinan experimentalmente, midiendo las variaciones de $[Q_d]$ y $[Q_i]$ con respecto al tiempo.

Representando gráficamente los valores obtenidos, se podrán trazar las correspondientes curvas o bien ajustar los datos por mínimos cuadrados a la ecuación apropiada” [3].

Para un atributo de calidad Q que disminuya con el tiempo, la ecuación correspondiente es:

$$-\frac{d[Q_d]}{dt} = kQ^n \quad (3)$$

Hay que ser cuidadoso en el momento de tomar la decisión de cuál es el orden aparente apropiado para una determinada reacción.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Preparación de las muestras

Para la realización de la experimentación se utilizaron tomates de árbol de la variedad Anaranjado puntón.

Se seleccionaron frutos de tomate de árbol en estado de madurez aceptable y que no presentaron daños físicos. Se lavaron con agua potable para eliminar impurezas de su superficie, posteriormente se los colocó en agua clorada por dos minutos, se volvió a lavar con abundante agua y finalmente se los dejó secar.

A los frutos secos se los peló para eliminar la cáscara y en un extractor de jugos marca SMC PLATINUM se obtuvo el zumo de tomate de árbol.

Al zumo obtenido se lo dividió en 3 proporciones iguales:

- A la primera, no se le adicionó ningún antioxidante.
- A la segunda, se le adicionó 0,3% en peso de ácido cítrico.
- A la tercera, se le adicionó 0,04% en peso de ácido ascórbico.

Las proporciones de zumos preparadas anteriormente se las colocó en envases de vidrio previamente esterilizados y en envases de plástico PET, desinfectados, para almacenarlos a la

temperatura ambiente (18-20°C) y a la temperatura de refrigeración (4-6°C).

3.2. Diseño experimental

T0: Temperatura ambiente (18-20°C)

T1: Temperatura de refrigeración (4-6°C)

Ax0: sin antioxidante

Ax1: 0,3% Ácido cítrico

Ax2: 0,04% Ácido ascórbico

E0: Envase de plástico, PET

E1: Envase de vidrio

Tabla 1. Codificación de los tratamientos de zumo de tomate de árbol

| Tratamiento | Código |
|-------------|--------|
| T0Ax0E0 | A |
| T0Ax0E1 | B |
| T1Ax0E0 | C |
| T1Ax0E1 | D |
| T0Ax1E0 | E |
| T0Ax1E1 | F |
| T1Ax1E0 | G |
| T1Ax1E1 | H |
| T0Ax2E0 | I |
| T0Ax2E1 | J |
| T1Ax2E0 | K |
| T1Ax2E1 | L |

3.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del zumo de tomate de árbol

Se midieron cada 24 horas las características fisicoquímicas de todas las muestras del zumo de tomate de árbol:

- a) Los sólidos solubles, expresados como °Brix mediante la utilización del refractómetro Abbe.
- b) El pH se determinó utilizando el potenciómetro marca Mettler Toledo.
- c) Para la determinación de la acidez titulable referida al ácido cítrico, se tomó 1 ml de muestra de zumo se la diluyó con 10 ml de agua destilada. Esta solución se tituló con NaOH 0,1 N, hasta obtener una coloración rosa persistente, de acuerdo al método 942.15A de la AOAC (2010).

3.4. Análisis sensorial

Con este análisis se determinó el tiempo en que el zumo de tomate de árbol con diferentes tratamientos resulta inaceptable para el consumo humano. Se realizaron pruebas de degustación evaluando el color, olor y sabor de los diferentes tratamientos estudiados.

4. RESULTADOS

Tabla 2. Resultados de modelación matemática para °Brix, pH y Acidez del zumo de tomate de árbol durante el almacenamiento a temperatura ambiente (18-20°C)

| Tratamiento | Modelo matemático | R ² | orden de reacción n |
|-------------|--|----------------|---------------------|
| A | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0062 t + 0,0969$ | 0,9055 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,161 t + 3,695$ | 0,9755 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,24 t + 1,8112$ | 0,9579 | 0 |
| B | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0053 t + 0,0954$ | 0,8996 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,141 t + 3,683$ | 0,9614 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,2368 t + 1,8496$ | 0,9474 | 0 |
| E | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0051 t + 0,0942$ | 0,9388 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,1363 t + 3,4371$ | 0,8737 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,1723 t + 2,0881$ | 0,963 | 0 |
| F | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0047 t + 0,0934$ | 0,9406 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,1349 t + 3,4012$ | 0,9135 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,1759 t + 2,1144$ | 0,9691 | 0 |
| I | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0048 t + 0,0923$ | 0,9835 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,157 t + 3,584$ | 0,9371 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,208 t + 1,9072$ | 0,9043 | 0 |
| J | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0047 t + 0,0906$ | 0,9839 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,15 t + 3,571$ | 0,9129 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,208 t + 1,9584$ | 0,8974 | 0 |

Tabla 3. Resultados de modelación matemática para °Brix, pH y Acidez del zumo de tomate de árbol durante el almacenamiento a temperatura de refrigeración (4-6°C)

| Tratamiento | Modelo matemático | R ² | orden de reacción n |
|-------------|--|----------------|---------------------|
| C | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0035 t + 0,0912$ | 0,9845 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,0895 t + 3,654$ | 0,9256 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,123 t + 1,8426$ | 0,976 | 0 |
| D | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0032 t + 0,0904$ | 0,9828 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,0872 t + 3,6359$ | 0,9331 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,1207 t + 1,8756$ | 0,9563 | 0 |
| G | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0029 t + 0,09$ | 0,973 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,1054 t + 3,3213$ | 0,938 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,1367 t + 2,1728$ | 0,9249 | 0 |
| H | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0028 t + 0,089$ | 0,9732 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,1041 t + 3,3165$ | 0,9318 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,1312 t + 2,1577$ | 0,9322 | 0 |
| K | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0029 t + 0,0891$ | 0,9789 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,0862 t + 3,5822$ | 0,959 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,1218 t + 1,9344$ | 0,9501 | 0 |
| L | $1^{\circ}\text{Brix} = 0,0029 t + 0,0883$ | 0,9847 | 2 |
| | $\text{pH} = 0,0837 t + 3,5702$ | 0,9417 | 0 |
| | $\% \text{Acidez} = -0,1173 t + 1,9457$ | 0,9256 | 0 |

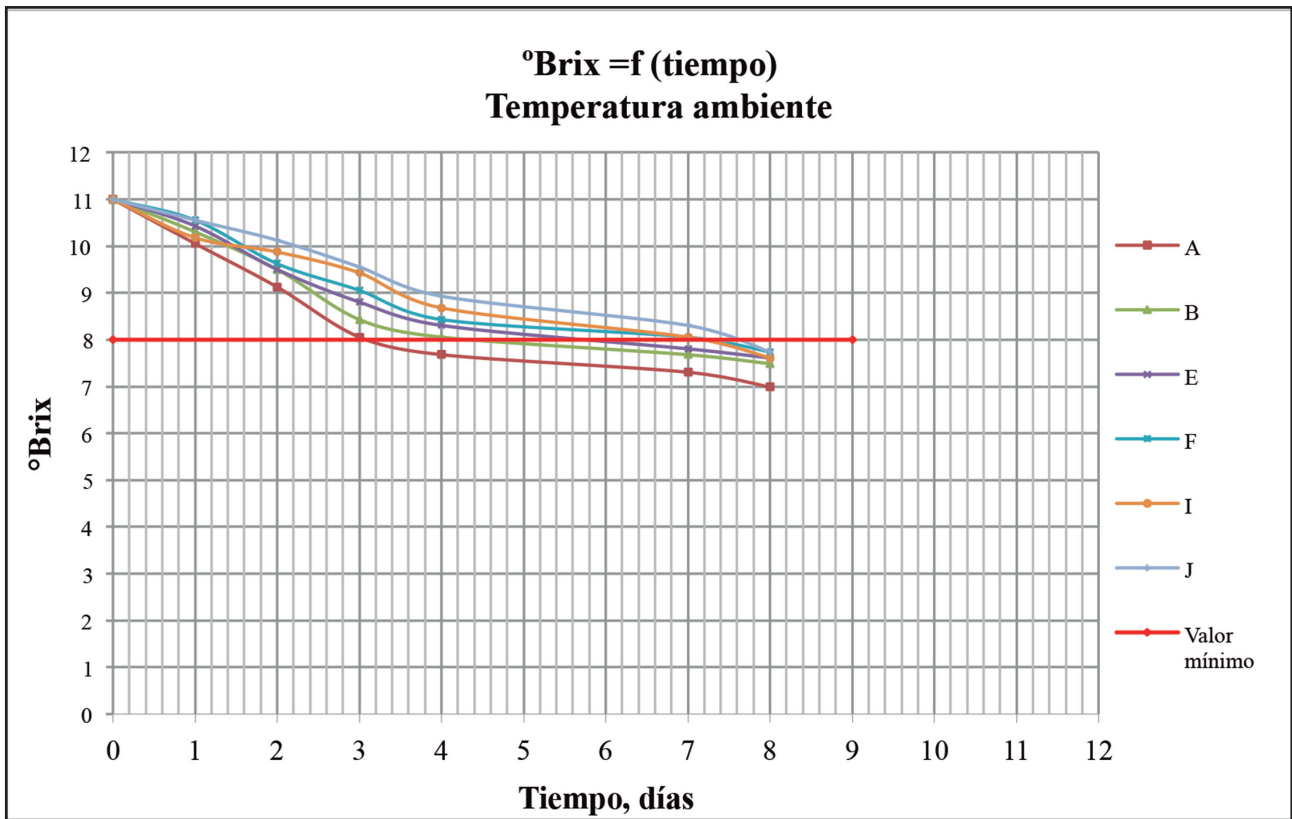


Figura 1. °Brix en función del tiempo a temperatura ambiente.

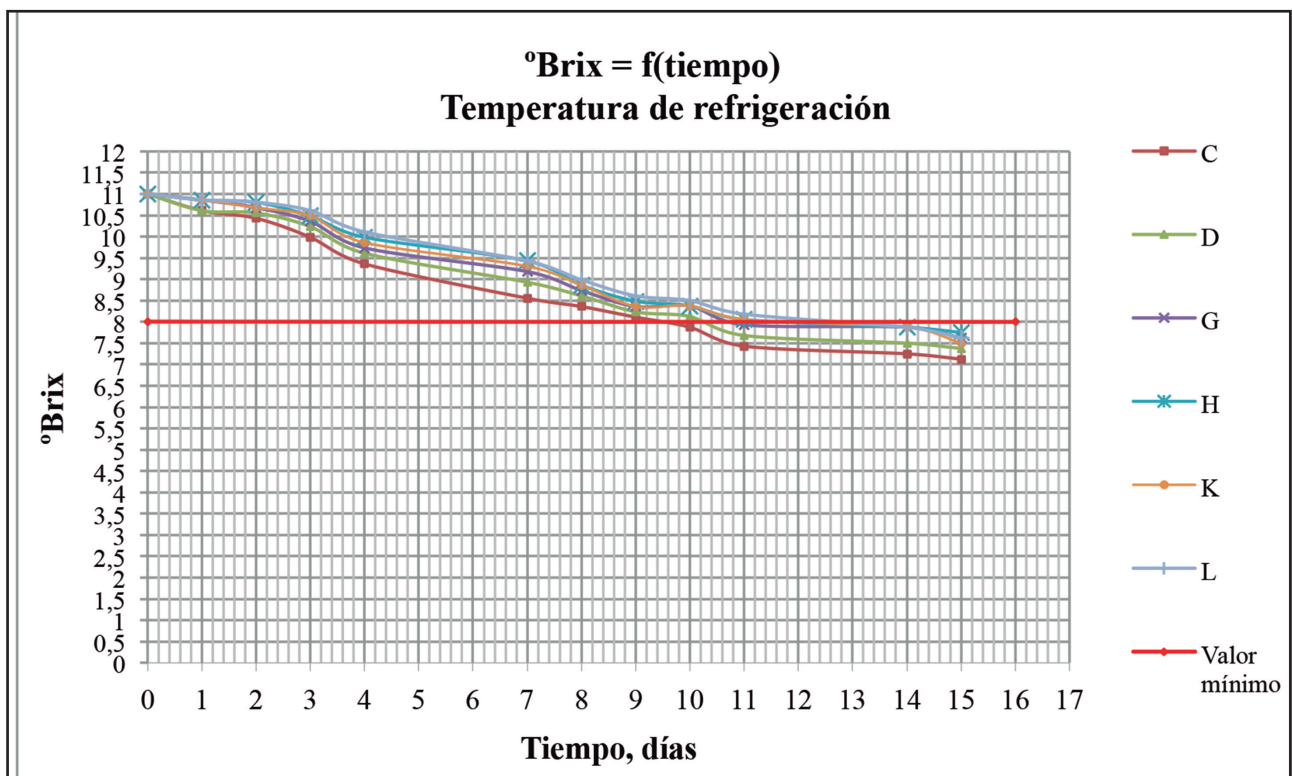


Figura 2. °Brix en función del tiempo a temperatura de refrigeración.

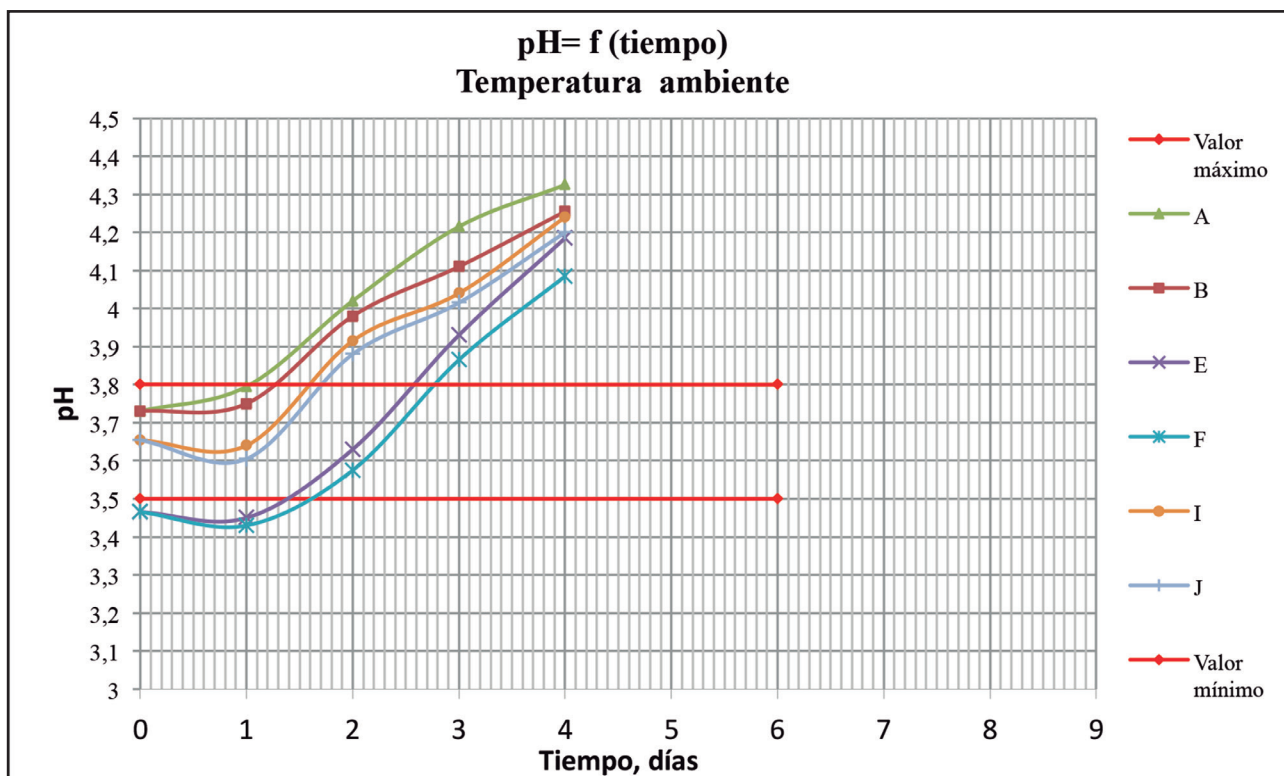


Figura 3. pH en función del tiempo a temperatura ambiente.

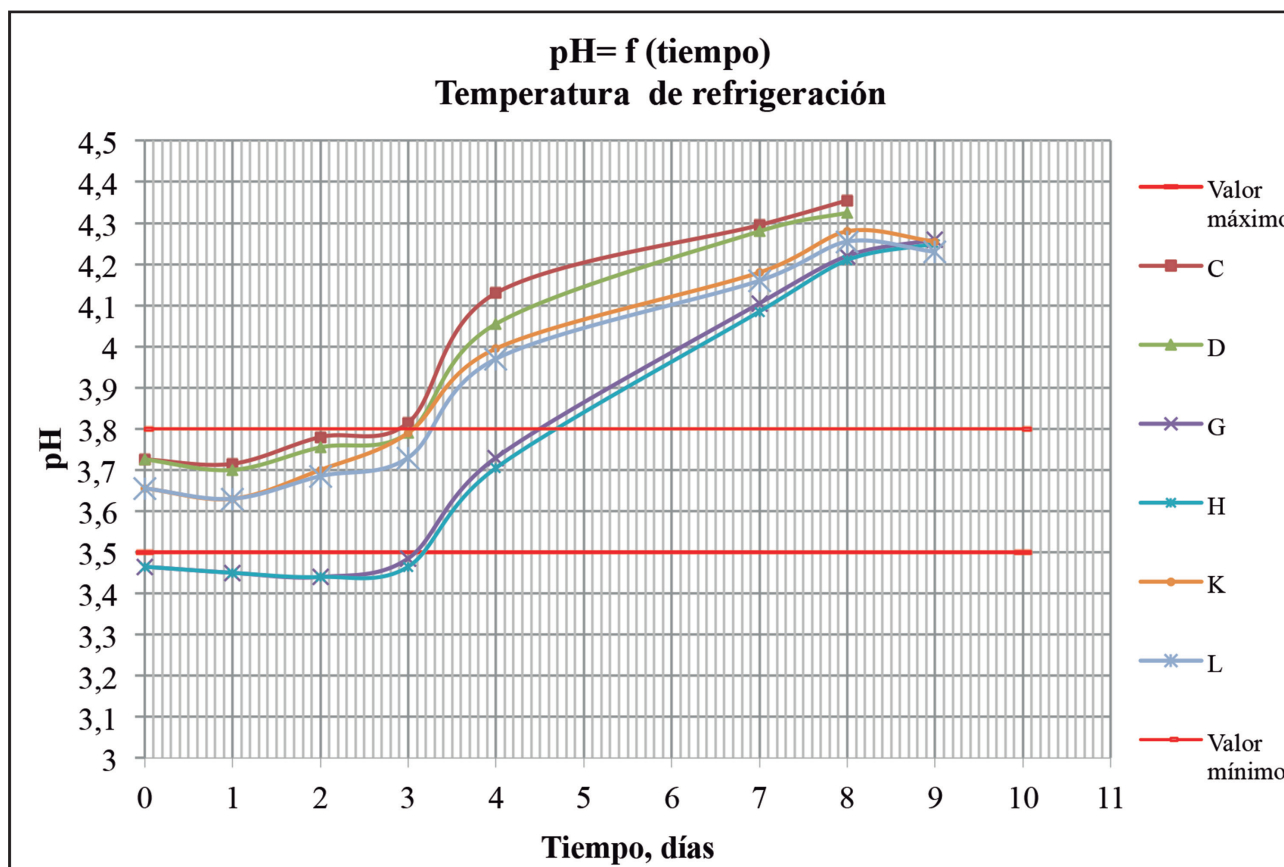


Figura 4. pH en función del tiempo a temperatura de refrigeración.

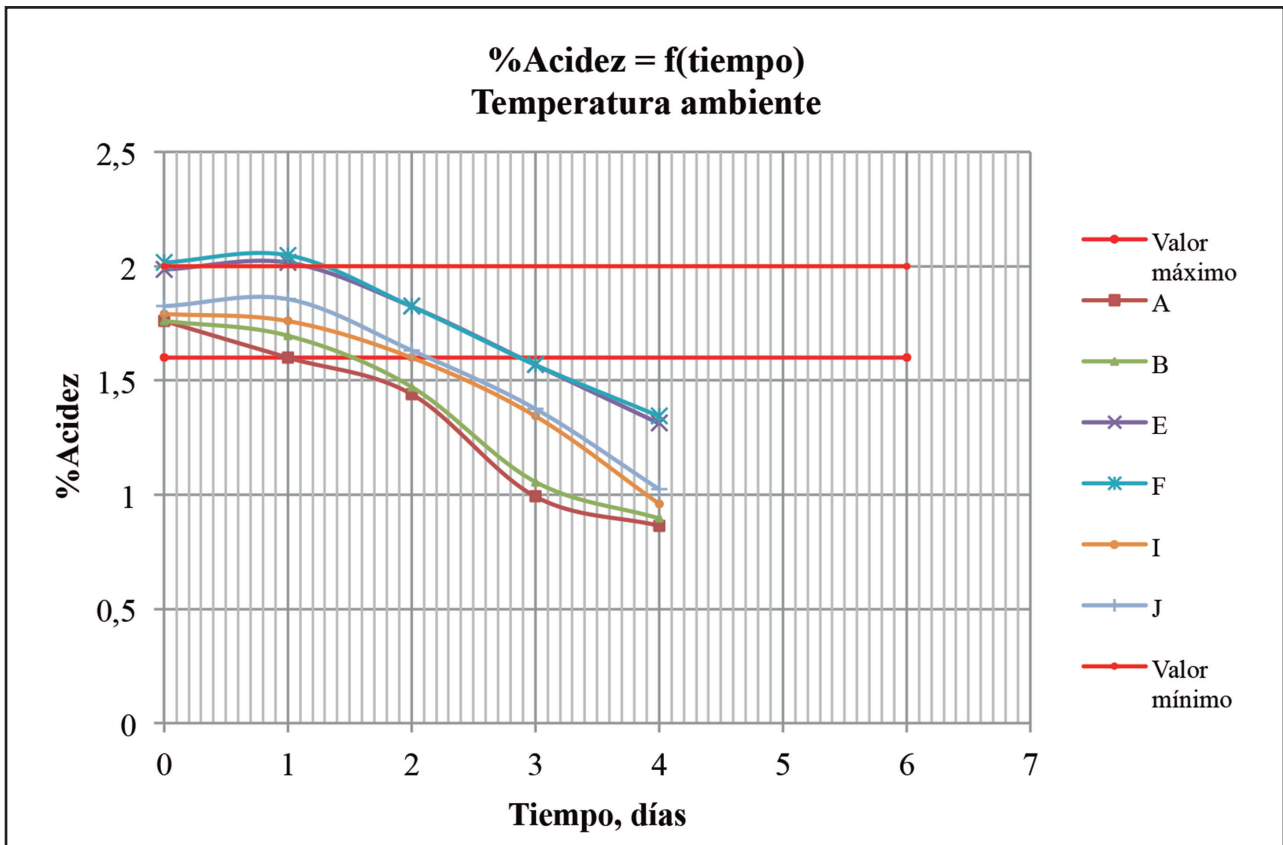


Figura 5. Acidez en función del tiempo a temperatura ambiente.

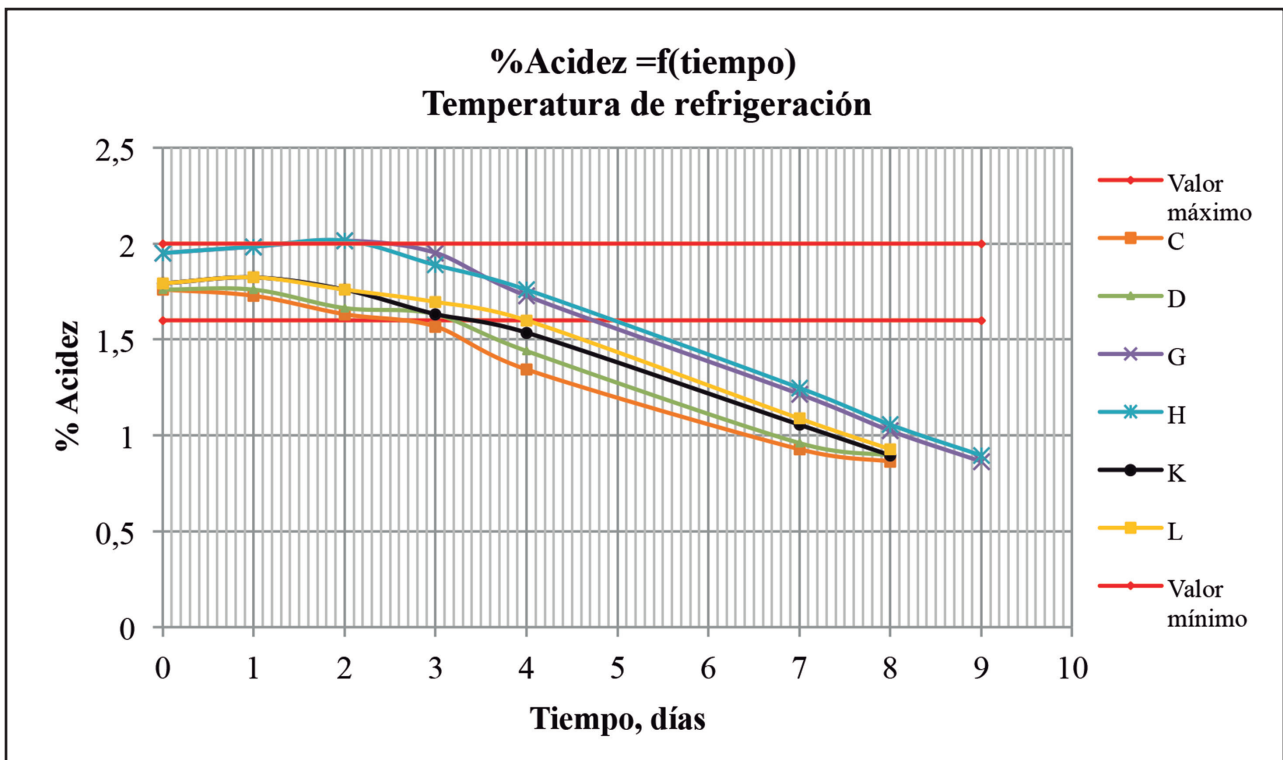


Figura 6. Acidez en función del tiempo a temperatura de refrigeración.

Tabla 4. Resultados del análisis sensorial del zumo de tomate de árbol

| Análisis Sensorial | Tratamiento | Tiempo, días |
|------------------------------|-------------|--------------|
| Temperatura Ambiente | A | 3 |
| | B | 3 |
| | E | 3 |
| | F | 3 |
| | I | 3 |
| | J | 3 |
| Temperatura de Refrigeración | C | 9 |
| | D | 9 |
| | G | 10 |
| | H | 10 |
| | K | 10 |
| | L | 10 |

5. DISCUSIÓN

- Durante la ejecución de la parte experimental del trabajo de investigación para determinar la caducidad del zumo de tomate de árbol en el almacenamiento, la lectura de temperatura ambiente fluctuó entre (18-20°C) y para la refrigeración entre (4-6°C) durante los días de experimentación.
- De acuerdo con los resultados obtenidos y que se indican en las tablas 2 y 3, el orden de reacción encontrado para el parámetro °Brix en todos los tratamientos estudiados del zumo de tomate de árbol, es de segundo orden mientras que para los parámetros pH y % acidez es de orden cero, al obtenerse los mayores factores de correlación. Estas tablas también presentan los modelos matemáticos obtenidos para cada tratamiento.
- En cuanto al análisis de datos como se observa en las figuras 1, 2, 5 y 6, los valores de sólidos solubles °Brix y Acidez de cada uno de los tratamientos estudiados a la temperatura ambiente y de refrigeración disminuyen en

función del tiempo de experimentación, siendo en menor proporción a la temperatura de refrigeración.

- Para el análisis del pH en todos los tratamientos estudiados y mediante las figuras 3 y 4, se puede observar que presenta una tendencia creciente en función del tiempo siendo en menor proporción a la temperatura de refrigeración.
- De acuerdo con el análisis sensorial y observando la tabla 4, el zumo de tomate de árbol con los tratamientos A, B, E, F, I, J fueron rechazados al tercer día por presentar un olor muy desagradable, en cuanto al sabor no se realizó su evaluación porque de acuerdo a los jueces el segundo día ya era muy desagradable; los tratamientos C y D fueron rechazados al noveno día y finalmente los tratamientos G, H, K, L ya eran inaceptables para el consumo al décimo día.

6. CONCLUSIONES

- Los modelos matemáticos obtenidos presentan un orden de reacción 2 para la variable °Brix en todos los tratamientos. Mientras que para las variables pH y porcentaje de Acidez para todos los tratamientos presentan un orden de reacción 0.
- Se concluye que la tendencia de sólidos solubles (°Brix) y acidez en función del tiempo de almacenamiento del zumo de tomate de árbol es decreciente mientras que para el pH la tendencia es creciente, por las figuras resultantes.
- Las mejores condiciones de almacenamiento del zumo de tomate de árbol, tomando en cuenta la aceptabilidad del consumidor, son: en refrigeración (4 a 6°C), tanto en el envase de vidrio o plástico y con adición de antioxidantes, ya que su tiempo de vida útil en almacenamiento fue de 10 días mientras que sin adición de antioxidante fue de 9 días.
- De la investigación realizada se concluye que las variables: temperatura, tiempo de almace-

namiento y la interacción entre éstas, influyen en la evaluación sensorial del color, olor y sabor del zumo en todos los tratamientos; mientras que la adición del antioxidante influye en los atributos color y sabor.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PELAYO, Maite. Vida útil de un alimento. EROSKI CONSUMER. Fundación EROSKI. [en línea]. [Fecha de Consulta: 22 de diciembre de 2012]. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2010/08/26/195339.php>
2. CASP, A.; ABRIL, J. Procesos de Conservación de Alimentos, Colección Tecnología de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa, Segunda edición. 2003. España. p. 55.
3. Ibid., pp. 56-57.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC.2010. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition 2005. Current through Revision 3, 2010. USA.
- ALMACHI SIMBAÑA, Mónica Patricia. Análisis de la vida útil de la papaya durante su almacenamiento mediante modelización matemática. Trabajo de grado. Ingeniera Química. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. s.e. Quito. 2008. 125 p.
- BORJA TITUAÑA, Verónica Elizabeth. Análisis de la vida útil del zumo de naranja durante el almacenamiento. Trabajo de grado. Ingeniera Química. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. s.e. Quito. 2009. 110 p.
- CASP A., ABRIL J., Procesos de Conservación de Alimentos. Colección Tecnología de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda edición. 2003. España. 494 p.
- CUBERO, Nuria. Aditivos Alimentarios. Ediciones Mundi-Prensa. 2002. España.
- DURAN MEDINA, Christian Eduardo. Estabilización de zumo de naranja mediante tratamientos combinados presión- temperatura. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. s.e. Quito. 2004. 107 p.
- FRAIZER, W.C. y WESTHOFF, D.C. Microbiología de los alimentos. 4ª edición española. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. 1993. 681p.
- JIBAJA M., Hugo. Modelado de la cinética de absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). [en línea]. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito. Junio 2010. 148 p. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2200>
- MORALES BARREZUETA, Nancy Cecilia. Estabilización de jugos de tomate de árbol y babaco. Trabajo de Grado. Ingeniera Química. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. Quito. EC. 1989. 104 p.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2337:2008. Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos. Quito. 2008.
- PRIMO YÚFERA, Eduardo. Química de los alimentos. Editorial Síntesis. España. 1998. 461 p.
- REINA, Carlos. Manejo Postcosecha y evaluación de la calidad para el tomate de árbol. [en línea]. Universidad Sur Colombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agrícola. 1998. Neiva. [Fecha de Consulta: 11 de diciembre del 2012]. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Manejo%20poscosecha%20y%20evaluacion%20de%20la%20calidad%20en%20tomate%20de%20arbol.pdf

- REVELO, J.; PÉREZ, E.; MAILA, M. El Cultivo de Tomate de árbol. Texto de consulta del estudiante. [en línea]. Quito -Ecuador. [Fecha de Consulta: 4 de diciembre del 2012]. Disponible en:
http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Cultivo%20_tomate_ecologico.pdf
- SANCHO VALLS, Josep. Introducción al análisis sensorial de alimentos. Editorial Alfaomega. México. 2002, 336 p.