

Degradación térmica de ácido ascórbico en jugo de limón

Thermal degradation of ascorbic acid in lemon juice

María Antonieta Riera ^{1*} , Ynet Gómez-Salcedo ¹ , Rosa Córdova-Mosquera ¹ 

¹ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología, Ecuador

maria.riera@utm.edu.ec; ynet.gomez@utm.edu.ec; rosa.cordova@utm.edu.ec

Fecha de recepción: 15 de marzo de 2022; Fecha de aprobación: 30 de junio de 2022.

*Autor de correspondencia: María Antonieta Riera (maria.riera@utm.edu.ec)

RESUMEN. El limón (*Citrus aurantifolia*), se destaca como una de las fuentes abundantes de ácido ascórbico (vitamina C). La disponibilidad de dicha vitamina puede ser reducida significativamente durante el procesamiento industrial del limón por acción de la temperatura, entre otras variables de interés. El objetivo de este trabajo es evaluar la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de limón para las relaciones temperatura-tiempo 65°C, 75°C, 85°C y 95°C a los 5, 10, 15 y 20 min, usando el método de titulación yodométrica. El jugo tanto fresco como tratado térmicamente, se caracterizó en términos de pH y grados Brix. Se determinó que la concentración de ácido ascórbico en el jugo de *Citrus aurantifolia* se redujo cerca del 40% respecto a su concentración inicial, al exponerlo a 75°C durante 20 min. Se constató que, en todos los casos evaluados, la degradación de la vitamina C sigue una cinética de orden. Los resultados de esta investigación pueden conducir a mejorar la estabilidad del ácido ascórbico en los derivados del limón. De acuerdo con los resultados obtenidos en cuanto a concentración de ácido ascórbico, °Brix y pH, se sugiere el uso de temperaturas de operación entre 65°C y 75°C con tiempos de cocción entre 15 y 20 min, de modo que se obtengan productos procesados derivados del limón donde se conserven las características de la fruta fresca y se potencie su comercialización.

Palabras clave. Ácido ascórbico, cinética, degradación, limón, tratamiento térmico.

ABSTRACT. Lemon (*Citrus aurantifolia*) is one of the abundant sources of ascorbic acid (vitamin C). The availability of this vitamin can be significantly reduced, during the industrial processing of lemon juice to the action of temperature, among other variables of interest. The objective of this work was to evaluate the thermal degradation of ascorbic acid in lemon juice for the temperature-time relationships 65°C, 75°C, 85°C and 95°C at 5, 10, 15 and 20 min, using the method of iodometric titration. Both fresh and heat-treated juice were characterized in terms of pH and Brix degrees. The concentration of ascorbic acid in *Citrus aurantifolia* juice, was reduced by about 40% compared to its initial concentration, when exposed to 75°C for 20 min. The degradation of vitamin C follows an order kinetics in all the cases evaluated. The results of this research can be to improve the stability of ascorbic acid in lemon derivatives. According to the results obtained in ascorbic acid concentration, °Brix, and pH, the operating temperatures has been between 65°C and 75°C, with cooking times between 15 and 20 min. It is expected to obtain products derived from lemon where the characteristics of the fresh fruit are preserved, and its commercialization is enhanced.

Keywords. Ascorbic acid, kinetics, degradation, lemon, heat treatment.

1. Introducción

El limón sutil (*Citrus aurantifolia*), es un fruto color verde de forma globosa, amarillento al madurar y cáscara delgada. Se caracteriza por tener semillas, una pulpa verde y jugosa con sabor ácido y aromático [1]. Es originario del sur de Asia y fue introducido a América por los españoles y portugueses en el siglo XVI. Se trata de una variedad muy común en Centroamérica y el Caribe, con buena adaptación en los climas tropicales y subtropicales [2].

En el Ecuador debido a su ubicación geográfica se favorece el cultivo de lima y limones. Este tipo de especie seguido del limón Tahití (*Citrus latifolia* Tan) son las más numerosas, con una extensión cercana a las 4,400 hectáreas de cultivo [3]. El destino de esta producción es el de fruta fresca tanto para el consumo interno como para exportación, dado que no existe la industria que permita la creación de un nuevo producto derivado del limón con valor agregado [4].

Según Bernal *et al.* [5], tras el auge que ha cobrado el interés por los denominados alimentos funcionales, frutas como el limón han sido revalorizadas por constituir matrices alimenticias con contenido de micronutrientes, antioxidantes y fibra con un potencial para el desarrollo de este tipo de alimentos. Sin embargo, en la actualidad los procesos más utilizados para la conservación y comercialización de frutas son la congelación, deshidratación, métodos químicos por adición de sustancias conservantes, enlatados, jugos, néctares, mermeladas y jaleas [6].

Uno de los métodos tradicionales usados en la producción de jugos es el térmico, el cual consiste en utilizar altas temperaturas para contrarrestar pérdidas del producto por contaminación microbiológica y al mismo tiempo prolongar la vida útil [7].

El uso de esta tecnología de procesamiento puede afectar la calidad nutricional y sensorial del jugo. Por una parte, el tratamiento térmico modifica los planos de fractura de las células vegetales, causando modificaciones en el color, sabor y textura. Así mismo causa degradación de sus componentes activos, siendo los menos estables el ácido ascórbico, el ácido pantoténico, la vitamina B6 y la B12 [8].

El ácido ascórbico, ascorbato o mejor conocido como vitamina C ($C_6H_8O_6$), es una molécula simple, cristalina, hidrosoluble, de color blanco, con estructura similar a la de la glucosa. Juega un papel protector del cerebro y del sistema nervioso sobre los efectos causados por el estrés. Interviene en la producción de colágeno necesario para los huesos, ligamentos y tendones. Su ausencia puede causar escorbuto y con ello afecciones en encías y dientes [9].

La vitamina C se puede encontrar en algunas frutas o verduras como la mandarina, naranja, pomelo, grosella negra, kiwi, caqui, guayaba, limón, fresa, pimienta roja, perejil, espinaca, coliflor, lechuga, tomate, entre otras [10]. En jugos de fruta fresca la cantidad de ácido ascórbico permanece inalterable durante las primeras siete horas de su preparación [11].

Ante la presencia de mecanismos de degradación, esta vitamina presenta variaciones de su contenido. Entre ellos se mencionan la temperatura, la concentración de sal y azúcar, el pH, el oxígeno, las enzimas, los catalizadores metálicos, la concentración inicial de ácido y la relación entre ácido ascórbico y su forma oxidada - ácido dehidroascórbico [12].

Estudios realizados demuestran que el tratamiento térmico aplicado a jugos de frutas afecta significativamente la concentración de sólidos solubles, la acidez y la concentración de vitamina C [13]. Es posible determinar la degradación del ácido ascórbico en un producto determinado haciendo un estudio cinético, lo cual permite no sólo estudiar su comportamiento sino también predecir las condiciones más favorables para su almacenamiento, el tiempo de vida media y la vida útil del producto [14].

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la variación que presenta el contenido de ácido ascórbico en el jugo de limón al ser sometido a un proceso de tratamiento térmico. El mismo se contextualizó en el Ecuador, donde se cultivan dos variedades: el limón Sutil (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle) y el limón Tahití (*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tan), tanto para el consumo local como exportación [15]. Se considera uno de los principales cultivos del país y en total para el año 2021, se registraron 5,230 hectáreas cultivadas con una producción de 22,403 toneladas [16].

En este sentido, la presente investigación permite monitorear las características físicas del producto a la vez que se obtienen los parámetros cinéticos de la operación unitaria, los cuales son requeridos en el diseño de un proceso industrial de este tipo. Su realización proporciona las condiciones de operación más favorables, dentro de los parámetros evaluados, para el tratamiento térmico del jugo de limón. Esto contribuiría con el establecimiento de variables útiles para el diseño de un proceso similar al estudiado, donde se busque además de alargar la vida útil del producto, maximizar el contenido de ácido ascórbico de la fruta procesada.

La estructura de este trabajo contempla la metodología empleada, donde se describen los materiales y métodos utilizados en la experimentación y análisis estadístico realizado. A continuación, se exponen los resultados obtenidos y se genera una discusión a partir de investigaciones afines al tema abordado. Posteriormente se presentan las conclusiones generadas en el trabajo, finalizando con los agradecimientos y referencias consultadas.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

En la experimentación se utilizó limón de producción local, el cual se adquirió en un mercado local de la costa ecuatoriana. Para la elaboración del néctar se higienizó la

fruta y se extrajo manualmente la pulpa, la cual se exprimó para obtener el zumo. Este se filtró para eliminar grumos o semillas. El néctar se preparó con 50mL de zumo de *Citrus aurantifolia* y 150mL de agua destilada de acuerdo con las especificaciones mínimas requeridas para jugos o pulpas de esta fruta [17]. Se agitó durante 15 segundos y se almacenó en un vaso de precipitados. Se determinó el pH con un potenciómetro InoLab® Multi 7110, WTW y °Brix del néctar con un refractómetro marca ATC.

2.2. Procedimiento experimental

El estudio de la cinética de degradación del ácido ascórbico del néctar se llevó a cabo a tres temperaturas de trabajo 75°C, 85°C y 95°C. El tratamiento térmico de desarrollo mediante una placa calefactora digital Thermo Scientific™ Cimarec. Para cada temperatura de trabajo, se tomaron muestras del néctar a los 5, 10, 15 y 20 min, las muestras se enfriaron rápidamente en un baño con hielo y se procedió a la determinación pH, °Brix y a la determinación, por triplicado, del contenido de ácido ascórbico [18].

La determinación de ácido ascórbico se desarrolló mediante una titulación redox con yodo 0.11N como reactivo valorante. Previamente el yodo se tituló con ácido ascórbico patrón Fisher Chemical [19].

2.3. Método integral de análisis de datos

En el método integral de análisis de datos se ensaya una ecuación cinética particular, se integra y se comparan los datos calculados y experimentales de concentración frente a tiempo. Si el ajuste no es satisfactorio se sugiere y ensaya otra ecuación cinética [20]. El procedimiento general de cálculo puede resumirse del modo siguiente:

En un sistema de volumen constante la expresión cinética para la desaparición del ácido ascórbico (reactante A) será de la forma siguiente:

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = kf(C) \quad (1)$$

Donde r_A es la velocidad de la reacción, $-dC_A/dt$ es el avance de la reacción con el tiempo, C_A es la concentración del ácido ascórbico a un tiempo t (min), C_{A0} es la concentración inicial del ácido ascórbico, y t es tiempo (min), k es la constante de la velocidad de la reacción (min^{-1}), $f(C)$ es la función de la concentración. Separando variables, se obtiene (2):

$$\frac{-dC_A}{f(C)} = kdt \quad (2)$$

En la que $f(C)$ solamente ha de contener concentraciones de sustancias que puedan expresarse en función de C_A . La integración de la ecuación (2) puede hacerse analítica o gráficamente, para dar (3):

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{f(C)} = k \int_0^t dt = kt \quad (3)$$

Esta función de la concentración es proporcional al tiempo, por lo tanto, una representación gráfica de la misma ha de conducir a una recta de pendiente k , para la ecuación cinética que se está asumiendo. A partir de los datos experimentales se calculan los valores numéricos de la integral de la ecuación (3) y se representan frente a los correspondientes tiempos. Se observa si estos datos se distribuyen sobre una recta que pasa por el origen; en caso afirmativo podemos decir que la ecuación cinética ensayada se ajusta a los datos. Si los datos se distribuyen mejor sobre una curva, se ha de rechazar la ecuación cinética y su mecanismo, y ensayar con otra ecuación.

Las ecuaciones empleadas para determinar la cinética de la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de limón corresponden a las expresiones de la ley de velocidad integrada la cual se tiene en (4):

$$C_A = C_{A0}e^{-kt} \quad (4)$$

2.4. Dependencia de la temperatura según la ecuación de Arrhenius

Para la inmensa mayoría de las reacciones se ha encontrado que el efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción está dado por la relación de la energía de activación y el nivel de temperatura sobre la constante cinética k . Dicha relación se describe a través de la ecuación de Arrhenius (5):

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (5)$$

Donde A es el factor preexponencial, E_a es la energía de activación ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$), R es la constante universal de los gases ideales ($8.31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), T es la temperatura absoluta (K). Esta expresión se considera como una primera aproximación adecuada para el estudio del efecto de la temperatura sobre la ecuación cinética.

Las reacciones con energía de activación grande son muy sensibles a la temperatura, mientras que ocurre lo

contrario para las reacciones con energías de activación pequeñas. La determinación de la energía de activación se desarrolló a partir de la ecuación de Arrhenius linealizada (6), evaluada para dos temperaturas de trabajo, de la forma:

$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (6)$$

2.5. Procesamiento estadístico de los datos

Para la interpretación de datos se utilizó el análisis de varianza empleando el Software Statgraphics.

3. Resultados y discusión

Los valores de pH de las muestras son en todos los casos inferiores a 4.5 (figura 1), en concordancia con lo que establece el Instituto Ecuatoriano de Normalización [17]. En una investigación realizada en el Perú, para el zumo de limón tahití (*Citrus latifolia*) y limón rugoso (*Citrus jambhiri Lush*) se registró un pH de 2.39 y 2.13 respectivamente, medido a temperatura ambiente [21]. Así mismo, en un trabajo desarrollado con jugo de limón producido en Argentina, se determinó un pH de 2.19 [22]. En un trabajo similar se obtuvo un pH de 2.73 en jugo de limón sin pasteurizar, almacenado a 27°C [22].

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se evidencia que el pH del néctar no sufre incrementos significativos con el aumento de la temperatura. Sin embargo, esto no concuerda con lo reportado por Avalo *et al.* [23], quienes afirman que producto de la degradación del ácido ascórbico, aumenta la concentración de ácido deshidroascórbico y con ello el pH. Esto indica que en las condiciones en las que se desarrolló el tratamiento térmico del néctar no se aprecia gran degradación del ácido ascórbico.

El incremento del pH a través del tiempo puede deberse a la fermentación de los azúcares presentes, siendo capaces de degradar los ácidos orgánicos y formar la producción de acetaldehído [21].

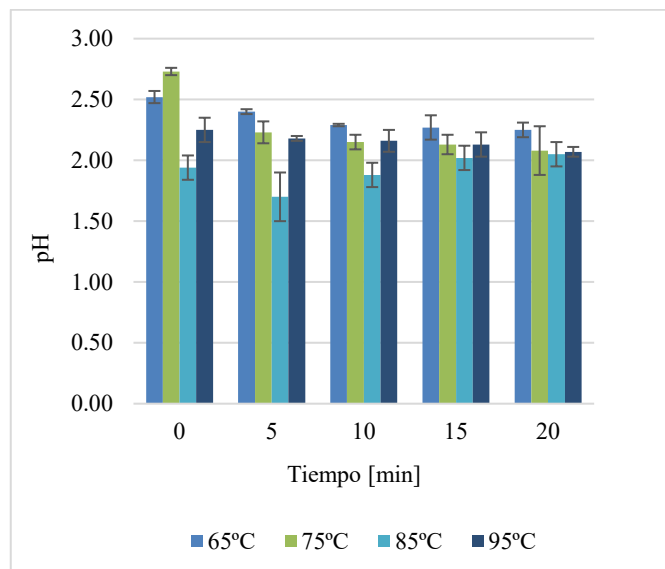


Figura 1. pH de las muestras

En la figura 2 se exponen los resultados de la determinación de los sólidos solubles (°Brix) de las muestras sometidas a las diferentes condiciones de temperatura, durante el transcurso del tiempo. En el zumo fresco de limón tahití (*Citrus latifolia*) y limón rugoso (*Citrus jambhiri Lush*) almacenado a 5°C, se registraron °Brix de 6.20% y 6.00% respectivamente. El contenido de los sólidos solubles en frutas cítricas varía en dependencia de la madurez del fruto y con el tiempo de almacenamiento [21].

El contenido de sólidos solubles en esta investigación no sufrió variaciones significativas tal como sucede en el caso del jugo fresco de maracuyá con relación al pasteurizado [24]. Los procesos térmicos en combinación con otros tratamientos, como los enzimáticos y las tecnologías de membranas, se emplean en la concentración de jugos de frutas para aumentar el contenido de °Brix, mantener o incorporar los componentes aromáticos del producto fresco, de modo que se mejoren los atributos sensoriales del producto final [25].

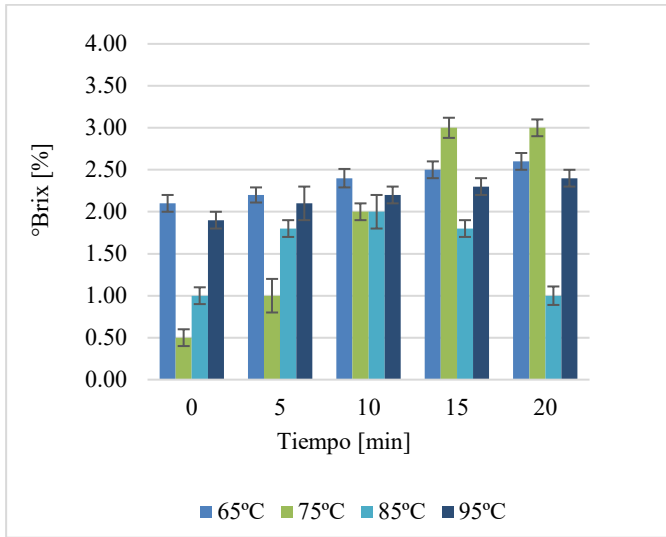


Figura 2. Grados Brix de las muestras.

3.1. Procesamiento estadístico de los datos

En la tabla 1 se muestra la variación de la concentración de ácido ascórbico en el néctar de limón, a las temperaturas evaluadas en el estudio.

Tabla 1. Variación de la concentración de ácido ascórbico (AA) (mg. mL⁻¹) en el tiempo

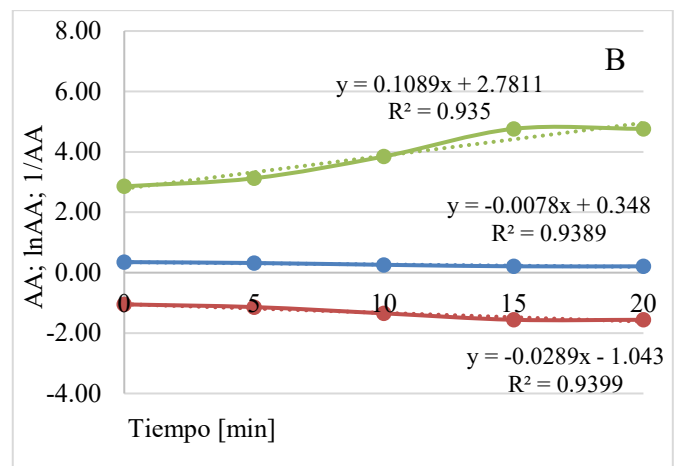
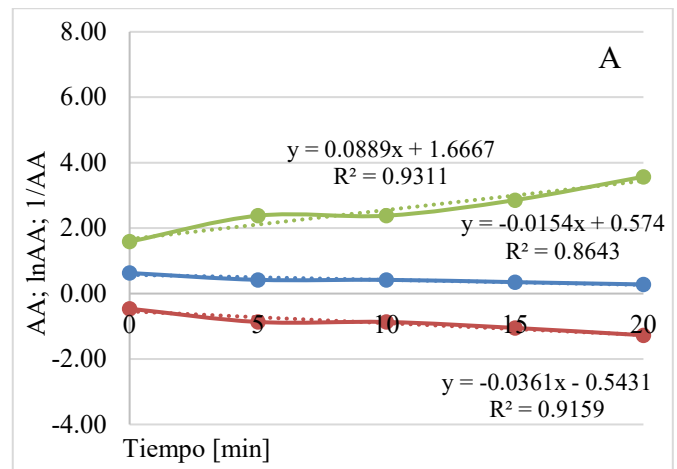
Tiempo (min)	65°C	75°C	85°C	95°C
0	0.63±0.02	0.35±0.01	0.27±0.06	0.23±0.03
5	0.42±0.02	0.32±0.01	0.23±0.02	0.21±0.01
10	0.42±0.09	0.26±0.02	0.21±0.02	0.17±0.02
15	0.35±0.03	0.21±0.05	0.17±0.04	0.16±0.02
20	0.28±0.04	0.21±0.02	0.15±0.06	0.14±0.04

La degradación del ácido ascórbico presentó un comportamiento exponencial a través del tiempo. Efectos similares se observan en el tratamiento térmico de néctar de mango [26] y fresa [27], en los cuales el porcentaje de vitamina C disminuyó al aumentar tanto la temperatura de proceso como el tiempo de exposición al tratamiento. Según Santander *et al.* [28], la disminución del ácido ascórbico se podría atribuir a su termolabilidad, siendo susceptible a la oxidación química y enzimática, y su velocidad de deterioro depende del método de procesamiento empleado y las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, se evidenció que no existen diferencias significativas en cuanto al porcentaje de reducción de la concentración de ácido ascórbico en las muestras ya que en todos los casos este fue de

alrededor del 40%, si se tienen en cuenta los valores iniciales y finales de concentración.

En una investigación donde se evaluó la estabilidad de la vida útil del jugo de limón envasado sin pasteurizar, se evaluó el contenido de ácido ascórbico inicialmente reportando un valor de 0.39mg.mL⁻¹ y posterior a tres semanas de almacenamiento a una temperatura promedio de 27°C, se redujo hasta 0.22mg.mL⁻¹, siendo una reducción cercana al 40 % [22], tal como sucedió en este estudio. Otra investigación en la cual se evaluó el efecto de la temperatura sobre el contenido de ácido ascórbico en jugo de limón fresco, se obtuvieron disminuciones del 33.33% al 40% sobre el contenido inicial de vitamina C, al cabo de 100 minutos de tratamiento térmico [30].

Con los resultados obtenidos en la degradación térmica del ácido ascórbico del jugo de limón, se realizó el estudio cinético tal como se expone en la figura 3.



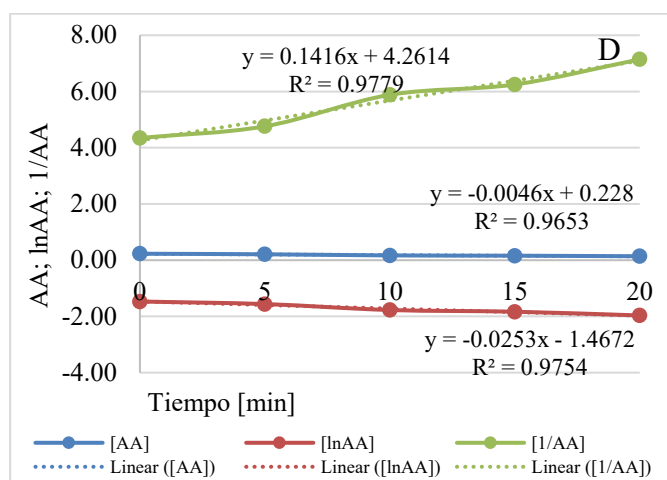
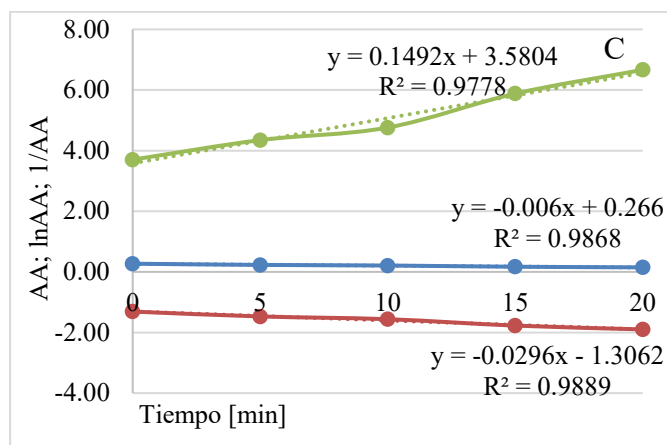


Figura 3. Cinética de la degradación térmica del ácido ascórbico en el néctar de limón. A: 65 °C; B: 75 °C; C: 85 °C; D: 95 °C. [AA]: Orden cero, [lnAA]: Primer orden; [1/AA]: Segundo orden

Se determinó que la reacción responde a una cinética de primer orden. Resultados similares lo reportan estudios hechos para el jugo de maracuyá [24] y el zumo de naranja [29]. La incidencia del tratamiento térmico sobre degradación del ácido ascórbico se evidenció en el incremento del valor de la constante cinética, al aumentar la temperatura de operación [11].

La energía de activación calculada fue de $6.7\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, la cual es similar a la que se reporta en un estudio cinético para evaluar la degradación de la actividad antioxidante de jugos cítricos por tratamiento térmico [30], quienes determinaron un valor de energía de activación para el jugo de limón de $8.4\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Valores de E_a de este orden indican una baja sensibilidad térmica a la degradación [31]. De la misma manera por Acevedo *et al.* [30], atribuyen una menor sensibilidad a la temperatura a la

degradación del ácido ascórbico del jugo de limón con respecto a los jugos de mandarina, naranja, pomelo y lima.

4. Conclusiones

La degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de limón para las temperaturas entre 65°C y 95°C sigue una cinética de primer orden, por lo que los tratamientos térmicos en este intervalo de temperaturas podrían tener efectos similares en la pérdida de vitamina C para derivados del limón. La medida de sensibilidad para la degradación de dicho componente se obtuvo con la E_a , evidenciando que el jugo de limón es más estable y su contenido de ácido ascórbico es menos propenso a degradarse con respecto a aquellos cuya energía de activación es mayor. Mientras menor es la temperatura de operación, se evidencia un mayor contenido de ácido ascórbico en el jugo de limón. En contraparte, un aumento en el tiempo de operación contribuye con el incremento del % Brix en el jugo. En este sentido es conveniente, definir procesos de pasteurización que se lleven a cabo entre 65°C y 75°C con duraciones entre 15 y 20 minutos, con el fin de brindar un producto donde se conserven las propiedades del limón fresco y se potencie su comercialización como producto procesado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, por permitir el acceso a su Laboratorio de Química para el desarrollo de la experimentación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores del trabajo presentado no presentan conflictos de intereses con ningún patrocinador o agencia con interés en los resultados del proyecto.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

Dos de las autoras de este trabajo participaron en la experimentación del trabajo de investigación y en la discusión de los resultados. Otra de las autoras trabajó en la preparación, revisión y escritura del manuscrito. Finalmente, todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior, “Limón Sutil”. (2016). [En línea]. Disponible en: <https://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/fichaproducto/113pdf2014Sep22.pdf>
- [2] F. Geilfus. *El árbol al servicio del agricultor: Guía de especies*. 2da. ed. Costa Rica: Enda-Caribe, 1994.
- [3] M. Santistevan, S. Helfgott, O. Loli, y A. Julca, “Comportamiento del cultivo del limón (*Citrus aurantifolia* Swingle) en “finca tipo” en Santa Elena, Ecuador”, *Idesia Arica*, vol. 35, no. 1, pp. 45-49, 2017.
- [4] G. Roland, “Captación de nuevos mercados del limón producido en la Parroquia Ayacucho Cantón Santa Ana”, Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador, 2017.
- [5] C. Bernal, C. Díaz, y C. Gutiérrez, “Probióticos y prebióticos en matrices de origen vegetal: Avances en el desarrollo de bebidas de frutas”, *Rev. Chil. Nutr.*, vol. 44, no. 4, pp. 383-392, 2017.
- [6] D. Moreno, *Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermeladas, uvas pasas y vinos*. Bogotá: Convenio Andrés Bello, 2003.
- [7] C. Dhuique, M. Tbatou, M. Carail, C. Caris, M. Dornier, y M. Amiot, “Thermal Degradation of Antioxidant Micronutrients in Citrus Juice: Kinetics and Newly Formed Compounds”, *J. Agric. Food Chem.*, vol. 55, no. 10, pp. 4209-4216, 2007.
- [8] L. Arias, “Efectos de los tratamientos térmicos sobre las propiedades nutricionales de las frutas y las verduras”, PhD Thesis, Corporación Universitaria Lasallista, Colombia, 2016.
- [9] S. Hickey y A. Saúl, *Vitamina C: La verdadera historia*. Málaga: Editorial Sirio S.A., 2014.
- [10] J. Luna, T. Sánchez, y M. Montenegro, “Desarrollo de un modelo matemático que permita predecir el cambio del contenido de vitamina C en una matriz alimenticia sometida a tratamientos térmicos con diferentes condiciones”, *Aliment. Hoy*, vol. 24, no. 39, pp. 103-116, 2016.
- [11] Y. Villareal, D. Mejía, O. Osorio, y A. Cerón, “Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina C en jugos de frutas”, *Biotecnol. en el Sect. Agropecu. Agroindustrial BSAA*, vol. 11, no. 2, pp. 66-75, 2013.
- [12] B. Pirone, M. Ochoa, A. Kessler, y A. Michelis, “Evolución de la concentración de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación de frutos de la rosa mosqueta (*Rosa glantheria* L.)”, *Rev. Investig. Agropecu.*, vol. 31, no. 1, pp. 85-98, 2002.
- [13] H. Cuastumal, B. Valencia, y L. Ordóñez, “Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales”, *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 13, no. 1, pp. 85-93, 2016.
- [14] F. Mendoza, E. Hernández, y L. Ruiz, “Efecto del Escaldado sobre el Color y Cinética de Degradación Térmica de la Vitamina C de la Pulpa de Mango de Hilacha (*Mangifera indica* var *magdalena river*)”, *Inf. Tecnológica*, vol. 26, no. 3, pp. 09-16, 2015.
- [15] C. O. Valarezo Beltrón, O. G. Caicedo Camposano, D. L. Cadena Piedrahita, L. A. Alcívar Torres, A. Rodríguez Berrío, A. Julca-Otiniano. “Caracterización de fincas productoras de limón (*Citrus aurantifolia*) en Portoviejo, Ecuador”, *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, vol. 7, no. 1, pp. 88-94, 2020.
- [16] Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema de Información Pública. Cifras Agroproductivas. Principales cultivos – 2021. (2021). [En línea]. Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), NTE INEN 2337: Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://archive.org/details/ec.nte.2337.2008>
- [18] L. Ordóñez, M. Ospina, y D. Rodríguez, «Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.)», *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 10, no. 2, pp. 44-51, 2013.
- [19] A. Alvarez, S. Jorrat, y M. Genta, “Caracterización fisico-química de jugo de limón de Tucumán”, *RIA Rev. Investig. Agropecu.*, vol. 34, no. 2, pp. 49-56, 2005.
- [20] O. Levenspiel, *Ingeniería de las Reacciones Químicas*, 3ra. ed. México: Limusa Wiley, 2004.
- [21] E. Domínguez, E. Ordóñez. “Evaluación de la actividad antioxidante, vitamina C de zumos cítricos de lima dulce (*Citrus limetta*), limón tahití (*Citrus latifolia*), limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush) y mandarina cleopatra (*Citrus reshni*) almacenador en refrigeración”, *Investigación y Amazonia*, vol. 3, no. 1, pp. 30-35, 2013.
- [22] A. Abbasi, M. Niakousari. “Kinetics of ascorbic acid degradation in un-pasteurized Iranian lemon juice during regular storage conditions”, *Pak J Biol Sci.*, vol. 11, no. 10, pp. 1365-9, 2008.
- [23] B. Avalo, S. Pérez, y M. Tovar, “Caracterización preliminar del proceso de concentración del jugo natural de naranja en un evaporador de tres efectos”, *Interciencia*, vol. 34, no. 11, pp. 784-790, 2009.
- [24] G. Páez, J. Freay, M. Moreno, Z. Mármol, K. Araujo, y M. Rincón, “Cinética de la degradación del ácido ascórbico en jugo de parchita”, *Afinidad*, vol. 65, no. 533, pp. 51-55, 2008.
- [25] R. Ávila-de Hernández, J. Bullón-Torrealba. “La concentración de jugos de fruta: Aspectos básicos de los procesos sin y con membrana”, *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, vol. 49, no. 3, pp. 65-76, 2013.
- [26] P. Hiwilepo, C. Bosschaart, C. van Twisk, R. Verkerk, y M. Dekker, “Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit (*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*) as compared to other selected tropical fruits”, *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 49, no. 2, pp. 188-191, 2012.
- [27] J. Gamboa, R. Megías, A. Soria, A. Olano, A. Montilla, y M. Villamiel, “Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries”, *Food Chem.*, vol. 153, pp. 164-170, 2014.

- [28] M. Santander, O. Osorio, y D. Mejía, “Evaluación de propiedades antioxidantes y fisicoquímicas de una bebida mixta durante almacenamiento refrigerado”, *Rev. Cienc. Agríc.*, vol. 34, no. 1, pp. 84-97, 2017.
- [29] L. Acurio, J. Villacís, D. Salazar, L. Pérez, y A. Valencia, “Efecto de la temperatura y radiación ultravioleta de onda corta en el contenido de ácido L-ascórbico en zumo de naranja (*Citrus sinensis*)”, *Aliment. Hoy*, vol. 23, no. 36, p. 75, 2015.
- [30] B. Acevedo, M. Montiel, y J. Avanza, “Estudio cinético de la degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos por tratamiento térmico”, *Facena*, vol. 20, no. 4, pp. 91-95, 2004.
- [31] W. Sánchez, J. Cortez, M. Solano, y J. Vidaurre, “Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja”, *Sci. Agropecu.*, vol. 6, no. 2, pp. 111-118, 2015.