

Evaluación de la cinética de degradación térmica de la vitamina C en la pulpa de tumbo (*Passiflora mollissima* b.)

Evaluation of the thermal degradation kinetics of vitamin C in the pulp of tumbo (*Passiflora mollissima* b.)

Sandra Rosy Quillimamani Soncco¹
Universidad Peruana Unión, Juliaca-Perú
sandraquillimamani@upeu.edu.pe

Alex Danny Chambi Rodriguez²
Universidad Peruana Unión, Juliaca-Perú
adanny@upeu.edu.pe

Joel Jerson Coaquira Quispe³
Universidad Peruana Unión, Juliaca-Perú
joelk@upeu.edu.pe

Artículo Recibido: 12-03-22

Artículo Aceptado: 07-07-22

Resumen

La vitamina C es un micronutriente importante, que se encuentra en los frutos ácidos tal es el caso del tumbo, estudios han demostrado efectos beneficiosos de la vitamina C en la salud debido a sus capacidades antioxidantes y eliminadores de radicales libres. El objetivo de la investigación fue evaluar la cinética de degradación térmica de la vitamina C de la pulpa de tumbo (*Passiflora mollissima* b.). Se preparó la pulpa de tumbo que posteriormente fue sometida a diferentes temperaturas (60, 70 y 80°C) y tiempos (0, 5, 10, 15 y 20 min). El contenido de vitamina C en la pulpa de tumbo fue de 77.01 mg/100g que se analizó por espectrofotometría. Los resultados

1 Ingeniero de Alimentos. Especialista en Calidad de los Alimentos. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5981-2754>

2 Maestro en Ciencia y Tecnología de los alimentos. Especialista en Microbiología de los alimentos. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0858-0332>

3 Ingeniero de Alimentos. Especialista en Tecnología de extracciones de aceites esenciales. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0906-2860>

mostraron que la degradación de la vitamina C siguió los modelos cinéticos de segundo orden. Las constantes de velocidades de degradación para el ácido ascórbico en la pulpa de tumbo fueron: $k_{60} = 0,014 \text{ min}^{-1}$, $k_{70} = 0,019 \text{ min}^{-1}$ y $k_{80} = 0,023 \text{ min}^{-1}$ y los tiempos de reducción decimal son: $D_{60} = 162.17 \text{ min}$, $D_{70} = 121.74 \text{ min}$ y $D_{80} = 101.76 \text{ min}$. El valor z fue de 99°C , la E_a en el rango de temperaturas de $60 - 80^\circ\text{C}$ es de 22.84 kJ/mol y el valor de Q_{10} es de $1,60$. El tiempo y temperatura óptimo de pasteurización en la pulpa de tumbo es de 10.69 min a 60°C , por presentar el mejor índice de correlación, retener la mayor cantidad de ácido ascórbico, presentar una velocidad de reacción menor y requiere de un mayor tiempo de reducción decimal. Se llegó a la conclusión que a mayor temperatura mayor es la degradación de vitamina C, los datos que se obtuvieron ayudarán a predecir las mejores condiciones de procesamiento de la pulpa de tumbo y minimizar la degradación ya que es un factor de suma importancia.

Palabras clave:

Pulpa de *passiflora mollissima*, cinética de degradación, vitamina C.

Abstract

Vitamin C is an important micronutrient, which is found in acidic fruits such as the case of tumbo, studies have shown beneficial effects of vitamin C on health due to its antioxidant and free radical scavenging capabilities. The objective of the research was to evaluate the thermal degradation kinetics of vitamin C of the pulp of tumbo (*Passiflora mollissima* b.). The pulp of tumbo was prepared and subsequently subjected to different temperatures ($60, 70$ and 80°C) and times ($0, 5, 10, 15$ and 20 min). The vitamin C content in the pulp of tumbo was $77.01 \text{ mg} / 100\text{g}$ which was analyzed by spectrophotometry. The results showed that vitamin C degradation followed second-order kinetic models. The degradation rate constants for ascorbic acid in the tumbo pulp were: $k_{60} = 0.014 \text{ min}^{-1}$, $k_{70} = 0.019 \text{ min}^{-1}$ and $k_{80} = 0.023 \text{ min}^{-1}$ and the decimal reduction times are: $D_{60} = 162.17 \text{ min}$, $D_{70} = 121.74 \text{ min}$ and $D_{80} = 101.76 \text{ min}$. The z value was 99°C , the E_a in the temperature range of $60-80^\circ\text{C}$ is $22.84 \text{ kJ} / \text{mol}$ and the value of Q_{10} is 1.60 . The optimal time and temperature of pasteurization in the pulp of tumbo is 10.69 min at 60°C , for presenting the best correlation index, retaining the greatest amount of ascorbic acid, presenting a lower reaction rate and requiring a longer time of decimal reduction. It was concluded that the higher the temperature, the higher the degradation of vitamin C, the data obtained will help to predict the best conditions of processing of the pulp of tumbo and minimize degradation since it is an important quality factor.

Keywords:

Passiflora mollissima pulp, degradation kinetics, vitamin C.

Introducción

El ser humano debe de incorporar a su dieta ciertas cantidades de vitamina C necesarias que ayuden a realizar procesos metabólicos tales como estimular el sistema inmunológico con el fin de combatir virus y bacterias, contribuyendo a la formación de colágeno, huesos y dientes, así como la reducción de riesgo de enfermedades pulmonares, y cardiovasculares (Vikram, Ramesh, y Prapulla, 2005).

El Perú cuenta con tres regiones: costa, sierra y selva los cuales están llenos de frutos conocidos y desconocidos, entre estos se encuentran una gran cantidad de frutos con alto contenido de vitamina C entre otros componentes, las frutas conocidas que destacan con dicha vitamina son: el limón, naranja, pomelos, maracuyá, toronjas, etc., y en la lista de frutas desconocidas se encuentran el tumbo, tomate de árbol, copoazú, yaca, entre otros que no son populares en la mayoría de la población debido a que son muy perecibles y difíciles de transportarlo para su expendio, (Florio, 2006). El tumbo es un fruto que no es muy común en la dieta de la población, el fruto tiene una cantidad importante de vitamina C, ya que estructura química de la vitamina C es muy sensible a la degradación, numerosos factores influyen en los mecanismos degradativos, entre ellos la temperatura, tiempo, pH, la concentración de oxígeno, etc. (Serra y Cafaro, 2007).

La reducción de esta vitamina durante el procesamiento industrial de las frutas para convertirlos en zumos, néctares y jugos es significativa ya que se degradan fácilmente por diversos factores como los cambios de temperatura, oxígeno, pH, etc., esto con el fin de una mayor permanencia desde el punto de vista microbiológico, afectando la calidad nutricional de los mismos. Este problema es fuente de diversas investigaciones como las de Orosco (2017) en el tomate de árbol, Ordóñez et al. (2013) en la

guayaba, Matei et al (2008) en productos farmacéuticos, Cuastumal et al (2016) en frutas tropicales y Páez et al. (2007) en jugo de parchita, y muchos otros trabajos más que explicaron la importancia de entender la reacción de degradación del ácido ascórbico investigando la cinética de degradación térmica de la vitamina C en las diferentes investigaciones ya mencionadas.

Es por los motivos expuestos que la investigación nace a partir de la necesidad de generar un mejor aprovechamiento de los recursos de este país, al realizar un proyecto de una fruta un tanto desconocida como es el Tumbo según lo indican Lama y Tezén (2017) y realizar el estudio de la degradación térmica y la cuantificación del contenido de vitamina C. Se considera que las necesidades diarias de la vitamina C para un adulto no exceden de los 65 a 95 mg y que cantidades superiores a los 3 g diarios causan acidificación de la orina e incrementan el consiguiente riesgo de cálculos urinarios (Fennema et al, 2019; Ordóñez y Yoshioka, 2012).

Los modelos cinéticos de degradación térmica son esenciales para el diseño de nuevos procesos encaminados a la obtención de productos de elevada calidad. Este hecho es de gran importancia para los fabricantes de zumos, néctares, jugos, etc. para procesar y almacenar correctamente el jugo en condiciones apropiadas, por tanto, que el consumidor pueda obtener el máximo beneficio del contenido de vitamina C en algunos productos se necesita controlar y realizar la predicción de la cuantía de las pérdidas, se requiere un conocimiento preciso de la cinética de degradación térmica, la constante de degradación es específica para cada producto y es necesario determinarla experimentalmente, para establecer un modelo matemático para la cinética de degradación de la vitamina C. En la presente investigación se busca evaluar la cinética de degradación térmica de la vitamina C en la pulpa de tumbo.

Materiales y Métodos

Tipo y diseño de la Investigación.

El presente estudio de tipo cuantitativo y el diseño fue cuasi - experimental en la cual se midió el efecto del tiempo y la temperatura en la concentración de vitamina C en la pulpa de Tumbo.

Obtención y tratamiento térmico de la pulpa de tumbo

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Ciencia de los Alimentos (CICAL) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión. La materia prima estuvo constituida por tumbo serrano (*Passiflora mollissima* b.) procedente de la región Cusco. A la pulpa extraída se le midió el pH (potenciómetro) y los grados Brix (refractómetro) a temperatura ambiente (16°C).

La metodología para evaluar el contenido de vitamina C consistió en diluir la pulpa en 1/5 con una solución de ácido oxálico al 4%. Se usó como patrón una solución de ácido ascórbico en concentraciones de 1 – 13 mg, continuando con el procedimiento se realizó los tratamientos térmicos a 3 temperaturas por 5 periodos de tiempo, luego evaluar los parámetros cinéticos de la degradación térmica en la pulpa de tumbo. Los resultados se expresaron en Mg. de vitamina C por 100 g de muestra.

Evaluación de los valores cinéticos de la vitamina C

La concentración de ácido ascórbico se determinó por el método de espectrofotometría con el reactivo 2,6-diclorofenolindofenol. Las lecturas fueron a 515 nm. en el espectrofotómetro. La cuantificación de la vitamina C se realizó en base a la siguiente ecuación:

$$y = a + bx \quad (1)$$

Donde y; es la absorbancia ($L_1 - L_2$) y x; son los mg de ácido ascórbico/100 ml de ácido oxálico (Urraca, 2011)

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de regresión con los modelos de cinética de orden cero, primer orden y segundo orden con las siguientes ecuaciones según Urraca (2011).

Cinética de orden cero

$$C = C_0 - k \cdot t \quad (2)$$

Dónde: n es orden de reacción y k es la constante de cinética, t es la temperatura y C_0 , C son las concentraciones inicial y final.

Cinética de primer orden

$$\ln C = \ln C_0 - k \cdot T \quad (3)$$

Dónde: n es orden de reacción y k es la constante de cinética, T es la temperatura y C_0 , C son las concentraciones inicial y final.

Cinética de Segundo orden

$$\frac{1}{[C]} = \frac{1}{[C]_0} + k \cdot T \quad (4)$$

Dónde: n es orden de reacción y k es la constante de cinética, T es la temperatura y C_0 , C son las concentraciones inicial y final.

Constante de velocidad (k)

$$\log C = \log C_0 - \left(\frac{k}{2.303} \right) \cdot t \quad (5)$$

Tiempo de reducción decimal (D)

$$\frac{1}{D} = \frac{k}{2.303} \quad (6)$$

Coefficiente de temperatura de degradación (z)

$$\log D = \log D_0 - \frac{1}{z} T \quad (7)$$

Energía de activación (Ea)

$$\log k = \log K_0 - \left(\frac{E_a}{2.303 \cdot R} \right) \cdot \frac{1}{T} \quad (8)$$

Donde: k ; es la constante cinética (min^{-1}), K_0 ; es el factor pre exponencial, E_a ; es la energía de activación (kJ/mol), R ; es la constante universal de los gases (8.3145 kJ/mol) y T ; es la temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$).

Factor adimensional (Q_{10})

$$Q_{10} = 10^{\frac{10}{z}} \quad (9)$$

Porcentaje de perdida

$$\%Perdida = (1 - e^{-kt}) \times 100 \quad (10)$$

Tiempo óptimo de procesamiento

$$t = D \times \log\left(\frac{C_i}{C_f}\right) \quad (11)$$

Resultados

Características Físicoquímicas de la pulpa de tumbo

La Tabla 1, presenta los resultados de las características físicoquímicas de tumbo en contraste a valores referenciales, estos resultados indican un contenido de vitamina C del 77%, la cual es notablemente superior en contraste a los valores de referencia, con respecto a los demás componentes estos se encuentran en el rango de los reportados en los referenciales, los cuales son corroborados en los valores de la variedad *passiflora*.

Tabla 1

Características físicoquímicas de la pulpa de tumbo (Passiflora mollissima b.)

Componentes	Cantidad	Valores de referencia					
		<i>mollissima</i> ^a	<i>mollissima</i> ^b	<i>mollissima</i> ^c	<i>edulis</i> ^d	<i>edulis</i> ^e	<i>quadrangularis</i> ^f
^a Brix	9.40±5.83	11.00	4.00	12.00	11.90	11.10	5.00
pH	4.00±5.45	3.09	3.10	3.28	2.99	2.80	5.30
Acidez (á. cítrico) %	0.43±3.11	0.51	0.85	0.43	0.37	-	-
Vitamina C (mg/100g)	77.01±2.54	66.69	30.15	24.35	-	41.00	-
Índice de madurez	22.05±5.40	-	-	-	-	-	-

Nota: ^aBaldeón et al. (2015), ^bRojas (2015), ^cEncina y Carpio (2011)

^dCorredor et al. (2007), ^ePertuzatti et al. (2015), ^fUrraca (2011).

Evaluación del efecto del tratamiento térmico del contenido de vitamina

Se prepararon las muestras con combinaciones de tiempos y temperaturas para la determinación de vitamina C en la pulpa de tumbo, de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente. Donde se muestra notablemente que al incrementar la temperatura y prolongarse el tiempo disminuye la cantidad de vitamina, Cheftel et al (1992) indican que la transferencia de

calor, es más eficiente en medios acuosos, por ser el agua buen conductor del calor, es decir, que al ser más eficiente la transferencia de calor, se tendrá una mayor destrucción de vitamina C en las frutas, sometidas a tratamientos térmicos. En la Tabla 2 se muestra el resultado de vitamina C retenido durante el tratamiento térmico en diferentes tiempos y temperaturas.

Tabla 2.

Contenido de vitamina C durante los tratamientos térmicos

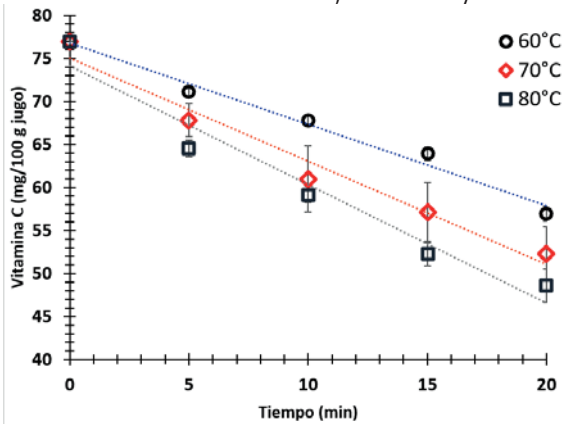
Tiempo (min)	60°C			70°C			80°C		
	\bar{x}	\pm	DE	\bar{x}	\pm	DE	\bar{x}	\pm	DE
0	77.01	\pm	0	77.01	\pm	0	77.01	\pm	0
5	71.12	\pm	0.41	67.84	\pm	0.62	64.55	\pm	1.11
10	67.84	\pm	0.62	60.97	\pm	0.91	59.18	\pm	0.85
15	63.96	\pm	0.75	57.09	\pm	0.62	52.31	\pm	1.25
20	56.94	\pm	0.85	52.31	\pm	1.8	48.58	\pm	2.72

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 1, muestra la cinética de la vitamina a diferentes temperaturas, en la cual se puede afirmar que el incremento de temperatura y una exposición prolongada de tiempo ocasiona una disminución del contenido de vitamina C.

Figura 1

Contenido de vitamina C a diferentes temperaturas y tiempo



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 3 se muestra la determinación del orden de reacción en las diferentes temperaturas y se determinó el orden de reacción cinético de la vitamina C, para lo cual se utilizaron los datos obtenidos de las temperaturas de 60, 70 y 80°C, en esta se puede afirmar que la cinética de orden dos (n =2) presento un mejor en las temperaturas de 70 y 80°C ya que los valores del coeficiente de determinación se encuentran cercanos a uno, sin embargo, para la temperatura de 60 °C la cinética de orden cero fue la más óptima.

Tabla 3

Coefficiente de determinación lineal para el orden de reacción

Temperatura °C	n = 0 R²	n = 1 R²	n = 2 R²
60	0.983	0.975	0.961
70	0.970	0.986	0.995
80	0.955	0.978	0.992

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de los valores cinéticos de la determinación de vitamina C Valor k y D

En la Tabla 4, se presenta los valores obtenidos de cada una de las ecuaciones para el valor k que es la velocidad de degradación térmica del ácido ascórbico durante los tratamientos térmicos en la pulpa de tumbo expresado en min^{-1} , en la cual se afirma que tratamientos a elevadas temperaturas ocasionan mayor degradación de la vitamina C, esto representado por el valor elevado de K a 80 °C con 0.0226 y donde D es el tiempo de reducción decimal expresado en min. en la cual la temperatura antes en mención también presento el menor tiempo de reducción decimal con 101.76, en ambos casos esta temperatura resulta ser perjudicial para el tratamiento térmico de la vitamina C.

Tabla 4

Constante de velocidad (k) y tiempo de reducción decimal (D)

Temperatura (°C)	K (min ⁻¹)	D (min)
60	0.0142	162.17
70	0.0189	121.74
80	0.0226	101.76

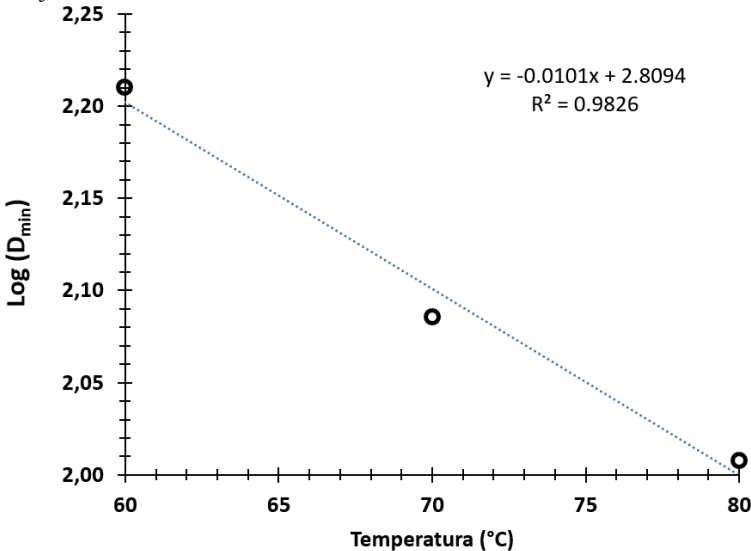
Fuente: Elaboración Propia

Cálculo del valor de resistencia térmica (z)

En la Figura 2, se observa una pendiente de la recta de 0,0101 y la inversa de este valor es 99°C, que es el valor de la resistencia térmica (z) de la degradación del ácido ascórbico en el zumo de tumbo con un índice de determinación de 0.9826

Figura 2

Gráfica de valor de resistencia térmica (Z)

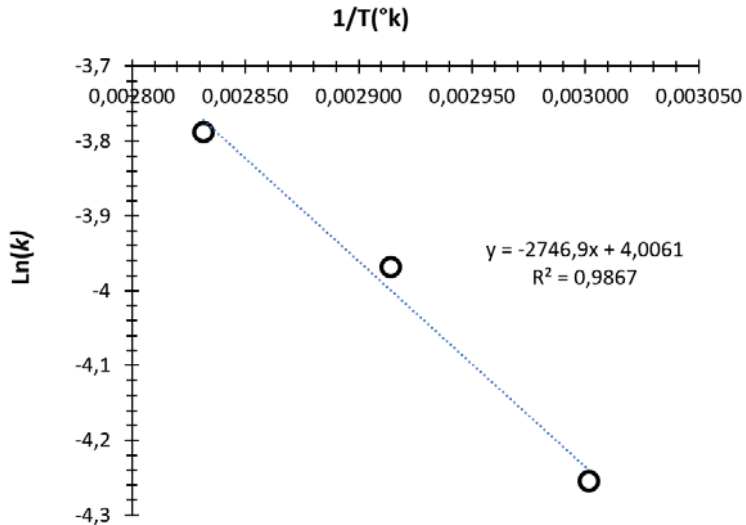


Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la Energía de activación (Ea)

La energía de activación la cual fue obtenida a partir de las constantes de la velocidad de degradación del ácido ascórbico (k) y la inversa de la temperatura absoluta, en la Figura 3, se muestra la figura correspondiente, en la cual se muestra una pendiente negativa con -2.746, y respecto al coeficiente de determinación de 0.9867

Figura 3
Gráfico de energía de activación.



Fuente Elaboración Propia

Cálculo de Q_{10}

El valor de Q_{10} , es de 1.60 para el ácido ascórbico durante la pasteurización de la pulpa de tumbo, este valor nos indica que disminuye en 1.60 el tiempo cuando se incrementa la temperatura en 10 °C al producto.

Cálculo de tiempo óptimo de procesamiento

En la Tabla 5 se muestra los resultados del tiempo óptimos de procesamiento para cada temperatura, observándose que a menor temperatura se encuentra el tiempo optimo, es decir, que se requiere menos tiempo y temperatura para tener niveles más altos de contenido de vitamina C.

Tabla 5

Tiempo óptimo de los tratamientos

Temperatura °C	D (min)	C _i (mg/100g)	C _f (mg/100g)	log (C _i /C _f)	Tiempo óptimo (min)
60	162.17	77.01	56.94	0.131	21.27
70	121.74	77.01	52.31	0.168	20.45
80	101.76	77.01	48.58	0.20	20.36

Nota: C_i: concentración inicial; C_f: concentración final

Fuente: Elaboración Propia

Porcentaje de pérdida

En la Tabla 6, se muestra el porcentaje de pérdida en función al tiempo y temperatura, se puede observar al tiempo 0 el porcentaje de perdida es cero y así sucesivamente va incrementándose el porcentaje de perdida, llegando a mayor temperatura y tiempo el porcentaje de perdida es de 36.40% a una exposición de 80 °C.

Tabla 6

Porcentaje de pérdida de vitamina C

Tiempo (min)	% Perdida de vitamina C		
	60°C	70°C	80°C
5	6.85	9.02	10.69
10	13.23	17.23	20.25
15	19.18	24.71	28.78
20	24.72	31.5	36.4

Fuente: Elaboración Propia

Discusión

Con respecto a los valores hallados en la Tabla 1, Para la variedad *Passiflora mollissima* no se cuenta con una referencia exacta, es por ello que se realizó una comparación con la *Passiflora edulis* (maracuyá) y *quadrangularis* (granadilla grande) ya que estas frutas son comerciales. Asimismo, se puede observar que la concentración de vitamina C del tumbo serrano es considerablemente mayor al de la referencia de Pertuzatti et. al (2015) el cual indica que las variaciones se deben a que los cultivos derivan de diferentes zonas, variedades, suelos, estaciones e incluso podrían variar por la presión atmosférica; Encina y Carpio (2011) concuerdan con esta afirmación hallando valores similares. Respecto a los valores de: sólidos solubles, pH, acidez no se encuentran lejanos a los de la referencia lo cual indica que los valores del contenido de vitamina C se encuentra en el rango adecuado.

Los valores de la vitamina C durante los diferentes tratamientos, muestran claramente que ante el incremento de temperatura y tiempo la concentración de vitamina C tiende a reducir (Tabla 2 y Figura 1) lo cual queda demostrado por diferentes investigaciones que trabajan con tratamientos térmicos como Ordóñez et al. (2013) en guayaba, Mendoza et al. (2015) en pulpa de mango, Chiroque (2017) en pulpa de mango, Lavarda (2011) en pulpa de acerola, Contreras (2015) en aguaymanto, Carranza et al (2014) en jugo de curuba, Aucayauri (2011) en jugo de naranja, Páez et al. (2007) en jugo de parchita, Robles (2016) en el zumo de oca, Ordóñez, Portilla, Ospina, & Rodríguez (2013), etc. Los cuales también indican la determinación de sus características nutricionales, ya que este micronutriente es un indicador de calidad, por otro lado, con respecto a la Tabla 3, Jonhson, Braddock, y Chen (1995) y Páez et al. (2007) indicaron que un modelo de segundo orden puede ser apropiada para describir la reacción de degradación de la vitamina C en el zumo de naranja y otros alimentos por efecto de las altas temperaturas, en las investigaciones antes mencionadas indican que a mayor temperatura también incrementa el coeficiente de determinación es decir pueden llegar a ajustarse al segundo orden. Por ello, es necesario que la fruta se almacene

en refrigeración para que el contenido de vitamina C no se vea afectado (Tareen et al 2015).

Por otro lado, los valores de la constante de velocidad (valor k) reportados en la Tabla 4, presentan similitud con los reportados por Aucayauri (2011) que realizó un estudio de zumo de naranja que presentó resultados de k_{70} es de 0.01520 min^{-1} y para k_{90} es de 0.02404 min^{-1} , y los resultados de Ordóñez, Portilla, Ospina, y Rodríguez (2013) que estudiaron la guayaba donde sus resultados del valor k fueron k_{75} 0.80 min^{-1} , k_{85} 1.12 min^{-1} , k_{95} 1.45 min^{-1} dichos resultados son mucho mayores a los nuestros, Ordóñez y Yoshioka (2012) muestran sus resultados en la pulpa de mango los cuales son k_{60} 0.028 min^{-1} , k_{70} 0.047 min^{-1} , k_{80} 0.056 min^{-1} estos resultados también son mayores, Matos y Chuquilin (2010) muestran sus resultados en el jugo de carambola los cuales son de k_{60} $0,03437 \text{ min}^{-1}$, k_{75} $0,04606 \text{ min}^{-1}$ y k_{90} $0,06979 \text{ min}^{-1}$ estos resultados también son mayores y Vikram et al. (2005) muestran resultados del jugo de naranja k_{50} $0,0183 \text{ min}^{-1}$ y k_{90} 0.5697 min^{-1} este último resultado es cercano al que se obtuvo en el presente trabajo. Dichos resultados son superiores a los nuestros, etc. Los resultados de la constante de velocidad de degradación indican la pérdida del ácido ascórbico es más rápida a mayor temperatura. Asimismo, el tiempo de reducción decimal obtenidos no están alejados de los resultados de Aucayauri (2011) se realizó en el Laboratorio de Química y Bioquímica de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazona de Pucallpa y la metodología es experimental. El zumo de naranja valencia (*Citrus sinensis*) son D_{70} 151.51 min , D_{90} 92.32 min estos valores son muy cercanos a los nuestros, Guzmán (2014) obtiene resultados D_{40} 34.54 min , D_{60} 15.35 min y D_{80} 8.63 min estos resultados están muy debajo a los nuestros, Ordóñez et al. (2013) indican que su valor D_{75} es de 2.88 min , D_{85} es de 2.05 min y D_{95} es de 1.59 min a la vista salta que sus resultados son inferiores a los reportados en este estudio. Ordóñez & Yoshioka (2012) muestran sus valores del valor D_{60} 82.24 min , D_{70} 48.99 min y D_{80} 41.12 min respectivamente, Vikram et al. (2005) muestran resultados de D_{50} 125.85 , y D_{90} 4.04 . Singh (2016) indica que cuando mayor es el valor D , mayor es la retención del nutriente debido a

que es un indicador de la termorresistencia del nutriente en el alimento.

Los valores de la resistencia térmica (Figura 2) presentan contrastes con los valores de otras frutas como los reportados por: Ordóñez y Yoshioka (2012) en pulpa de mango reporta un resultado del valor z de 66°C , Ordóñez et al. (2013) en guayaba reportan de 76.7°C , Guzmán (2014) en maracuyá alcanza unos resultados de 66.8°C y Gabas, Telis, y Menegalli (2003) en ciruela liofilizada obtiene un valor de 84°C el valor z es la elevación de la temperatura para reducir a la décima parte el tiempo de tratamiento térmico estándar para obtener la misma tasa de destrucción.

En la investigación, la energía mínima requerida (E_a) para que inicie la degradación térmica del ácido ascórbico en la pulpa de tumbo es 22.83 kJ/mol (Figura 3), la pendiente de la ecuación linealizada de la ecuación de Arrhenius resultó 0.0101 . Los reportes de diferentes trabajos como Ordóñez et al. (2013) obtuvieron una E_a de 31.67 kJ/mol en un rango de temperaturas de $75 - 95^{\circ}\text{C}$ en pulpa de guayaba, Ordóñez & Yoshioka (2012) de 34.02 kJ/mol en un rango de temperaturas de $60 - 80^{\circ}\text{C}$ en pulpa de mango, Aucayauri (2011) se realizó en el Laboratorio de Química y Bioquímica de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazona de Pucallpa y la metodología es experimental. El zumo de naranja valencia (*Citrus sinensis*) de 26.32 kJ/mol en un rango de temperatura de $70 - 90^{\circ}\text{C}$ en zumo de naranja, Lavarda (2011) 19.95 kJ/mol en un rango de temperaturas de $60 - 80^{\circ}\text{C}$ en acerola. En cuanto más bajo sea el valor de la energía de activación menor será la reacción de degradación del ácido ascórbico en el zumo de tumbo pasteurizado, se necesitaría de un incremento equivalente al valor de la energía de activación para que reaccione una molécula y consecuentemente pierda su actividad vitamínica.

El valor de Q_{10} , es de 1.60 para el ácido ascórbico durante la pasteurización de la pulpa de tumbo, este valor es superior a valor obtenido por Aucayauri (2011) que obtuvo 1.3 en el zumo de naranja, Orosco (2017) realizó la investigación en la pulpa de tomate de árbol el cual obtuvo un valor de

1.03 este dato es inferior a los datos que se obtuvieron en la pulpa de tumbo esto es debido a que el tiempo para la concentración del ácido ascórbico de pulpa de tumbo en alcanzar los niveles inaceptables, cuando la pulpa es sometida a una temperatura más alta por 10 °C. El valor de Q_{10} nos indica que disminuye en 1.60 el tiempo cuando se incrementa 10°C al producto. Se concluye entonces que el ácido ascórbico en la pulpa pasteurizada de tumbo es menos estable en comparación con el zumo de naranja que investigó Aucayauri (2011) y Orosco (2017).

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que la fruta utilizada en el presente estudio, demostró que el tumbo tiene un alto contenido de vitamina C con 77.01 mg/100g. El modelo cinético que se ajustó mejor para determinar los parámetros cinéticos de degradación de la vitamina C en el zumo de tumbo es la segunda reacción. Las velocidades de degradación para la vitamina C en el zumo de tumbo son: $k_{60} = 0,014 \text{ min}^{-1}$, $k_{70} = 0,019 \text{ min}^{-1}$ y $k_{80} = 0,023 \text{ min}^{-1}$ y los tiempos de reducción decimal: $D_{60} = 162.2 \text{ min}$, $D_{70} = 121.7 \text{ min}$ y $D_{80} = 101.8 \text{ min}$. El valor z fue de 99°C y la energía de activación del ácido ascórbico en el rango de temperaturas de 60 a 80°C es de 22.84 kJ/mol y el valor de Q_{10} para el ácido ascórbico en el zumo de tumbo es de 1.60. El tiempo y temperatura óptimo de pasteurización en la pulpa de tumbo es de 10.7 min y 60°C, por presentar el mejor índice de correlación, retener la mayor cantidad de ácido ascórbico, presentar una velocidad de reacción menor y requiere de un mayor tiempo de reducción decimal.

Referencias

- Aucayauri, E. (2011). *Estudio de la cinética de degradación térmica del ácido ascórbico durante la pasteurización del zumo de naranja valencia (citrus sinensis)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1876>
- Baldeón, E. O., Alcañiz, M., Masot, R., Fuentes, E. M., Barat, J. M., & Grau, R. (2015). Voltammetry pulse array developed to determine

- the antioxidant activity of camu–camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaug) and tumbo (*Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey) juices employing voltammetric electronic tongues. *Food Control*, 54, 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.044>
- Carranza-Saavedra, D., Reyes, D. A. M., Herrera, H. A. V., & Duque, J. F. S. (2014). Cinética de Degradación Térmica del Ácido L-ascórbico en Jugo de Curuba (variedad Mollissima). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 67(2), 165 - 167. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/issue/view/5130>
- Cheftel, J.-C., Cheftel, H., Besançon, P., Desnuelle, P., & López, F. (1992). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Acribia.
- Chiroque, D. (2017). “*Degradación térmica de vitamina c en pulpa de mango (mangifera indica l.) variedad haden y predicción microbiológica de vida útil mediante modelo de Gompertz.*” [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1038>
- Contreras, X. (2015). *Influencia de la temperatura de secado en la degradación térmica del ácido ascórbico en el aguaymanto (physalis peruviana l.)*. Universidad Nacional del Centro del Perú Huancayo.
- Corredor, G., Fischer, G., y Pinzón, I. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana*, 83–95. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/256475458_Determinacion_de_los_estados_de_madurez_del_fruto_de_la_gulupa_Passiflora_edulis_Sims
- Cuastumal, G., Valencia, B., y Ordóñez, L. (2016). Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. *Revista Lasallista de Investigación*, 13, 85–93. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69545978008>
- Encina, C., y Carpio, L. (2011). Máxima retención de ácido ascórbico, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tumbo. *Ingeniería Industrial*, 29, 1025–9929. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.236>
- Fennema, O. R., Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2019). *Introducción a la química de los alimentos*. In *Fennema, química de los alimentos* (pp.

1-16). Acribia.

- Florio Ramirez, E. (2006). Néctar de tumbo (*Passiflora mollissima* HBK). *Ciencia Y Desarrollo*. 1(4), 95 - 96. <https://doi.org/10.33326/26176033.1996.4.84>
- Gabas, A., Telis, J., & Menegalli, F. (2003). Cinética de degradación de ácido ascórbico en Azeitonas liofilizadas. *Ciencia Y Tecnologia de Alimentos Campinas*, 66-70. <https://www.scielo.br/j/cta/al/s3c3jWsSj7dvZJ3nzQrdcVj/?format=pdf&lang=pt>
- Guzmán, J. (2014). *Evaluación de la cinética de degradación térmica de la vitamina C en el jugo de papaya (Carica papaya L.) y maracuyá (Passiflora edulis)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. http://209.45.73.22/bitstream/UNSCH/938/1/Tesis%20AI148_Guz.pdf
- Jonhson, J. R., Braddock, R. J., & Chen, C. S. (1995). Kinetics of Ascorbic Acid Loss and Nonenzymatic Browning in Orange Juice Serum: Experimental Rate Constants. *Journal of Food Science*, 60(3), 502-505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb09812.x>
- Lama, A., & Tezén, P. (2017). *Estudio de prefactibilidad de la implementación de una empresa procesadora de arilos de granada y jugo concentrado de maracuyá para su exportación al mercado europeo*. [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9707>
- Lavarda, Liziane. (2011). *determinação da cinética de degradação térmica da vitamina c em polpa de acerola via aquecimento ôhmico liziane lavarda*. [Tesis de Grado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <http://hdl.handle.net/10183/36905>
- Lešková, E., Kubíková, J., Kováčiková, E., Košická, M., Porubská, J., & Holčíková, K. (2006, June). Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19(4), 252-276. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.04.014>
- Matei, N., Birghila, S., Popescu, V., Dobrinas, S., Soceanu, A., Oprea, C., & Magearu, V. (2008). Kinetic study of vitamin C degradation from pharmaceutical products. *Romanian Journal of Physics*, 53(1-2), 343-35. https://rjp.nipne.ro/2008_53_1-2.html

- Matos, A., & Chuquilin, E. (2010). Estudio de la Influencia de la Concentración en la Retención de Vitamina C en Jugo Fresco y Concentrado de Carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 36-40 <https://1library.co/document/zw9kpv1y-y-concentrado-de-carambola-averrhoa-carambola-l.html>
- Mendoza, F. A., Hernández, E. J., y Ruiz, L. E. (2015). Efecto del escaldado sobre el color y cinética de degradación térmica de la vitamina C de la pulpa de mango de hilacha (*Mangífera indica* var magdalena river). *Informacion Tecnológica*, 26 (3) <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000300003>
- Ordóñez, L., Portilla, M., Ospina, R., y Rodríguez, D. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, 10(2), 44-55. <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/rldi/article/view/505>
- Ordóñez, L. y Yoshioka, L. (2012). Cinética de degradación térmica de vitamina c en pulpa de mango (*mangifera indica* l). *Vitae*, 19 (1), S81-S83. ISSN: 0121-4004. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914019>
- Orosco, F. (2017). *Efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol (Solanum betaceum)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Jose Maria Arguedas]. <http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/274>
- Páez, G., Freay, J., Moreno, M., Mármol, Z., Araujo, K., y Rincón, M. (2007). Cinética de la degradación del ácido ascórbico en jugo de parchita. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 65(533), 51 - 55. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/281445>
- Pertuzatti, P., Sganzerla, M., Jacques, A., Barcia, M. T., & Zambiasi, C. (2015). Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 259–263. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.031>
- Robles, N. (2016). *Efecto del tiempo y temperatura de pasteurización en el contenido de vitamina C y capacidad antioxidante del zumo de oca*

- (*Oxalis tuberosa* Mol). [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3592>
- Rojas, F. (2015). *Formulación y evaluación de la estabilidad de betalainas y vitamina C en bebida a base de tumbo (Passiflora mollisima) y Tuna (Opuntia sp.) y edulcorada con stevia* [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1256>
- Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ascorbic acid: from chemistry to its crucial protective role in the eye. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(4), 525–532. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572007000400010
- Singh, P. (2016). *Computer Applications in Food Technology*. Computer Applications in Food Technology. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-646382-8.x5000-9>
- Tareen, H., Mengal, F., Masood, Z., Mengal, R., Ahmed, S., Bibi, S., Shoaib S., Sami, U., Mandokhail, F., Riaz, M., Farman, N. y Nawaz, Z. (2015). Determination of Vitamin C content in Citrus Fruits and in Non-Citrus Fruits by Titrimetric method, with special reference to their nutritional importance in Human diet. *Biological Forum – An International Journal*. 7(2), 367 - 369. https://researchtrend.net/bfij/bfij_volume-14.php
- Urraca, E. (2011). Efecto de la actividad de agua y del pH sobre la vida útil de la pulpa de tumbo (*Passiflora quadrangularis*). *Pueblo continente*. 22(1), 141 - 150. <http://journal.upao.edu.pe/PuebloContinente/article/view/461/426>
- Vikram, V. B., Ramesh, M. N., y Prapulla, S. G. (2005). Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*. 69(2005), 31 - 40 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.013>

