



## Cinética de degradación de vitamina C en jugo de naranja (*Citrus sinensis*) en anaquel a temperatura ambiente y en frío

### Degradation kinetics of vitamin C in orange juice (*Citrus sinensis*) at ambient and cold shelf life

Silvia María Murillo-Baca\*; Fortunato Candelario Ponce-Rosas; Antonio Otárola-Gamarra; Wuelber Joel Torres-Suarez; Hugo Rómulo Buendía-Ponce; Wagner Vásquez-Orihuela

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ciudad Universitaria, Calle Daniel Alomáis Robles s/n, Chanchamayo, Junín, Perú.

\* Autor correspondiente: [smurillob@undac.edu.pe](mailto:smurillob@undac.edu.pe) (S. M. Murillo-Baca).

ID ORCID de los autores

S. M. Murillo-Baca:  <http://orcid.org/0000-0003-2403-2157>

F. C. Ponce-Rosas:  <http://orcid.org/0000-0003-0579-7226>

A. Otárola-Gamarra:  <http://orcid.org/0000-0003-3714-4027>

W. J. Torres-Suarez:  <http://orcid.org/0000-0002-8023-1890>

H. R. Buendía-Ponce:  <http://orcid.org/0000-0002-5289-5200>

W. Vásquez-Orihuela:  <http://orcid.org/0000-0002-2168-7505>

#### RESUMEN

El objetivo de la investigación fue establecer la cinética de degradación de vitamina C en jugo de naranja envasado y exhibido a temperatura ambiente y en frío. Se evaluó la vitamina C en jugo envasado en botellas de plástico transparente a 27, 16 y 8 °C durante seis horas; se determinó la velocidad de degradación (K), tiempo de reducción decimal (D), tiempo de vida media ( $T_{0,5}$ ),  $Q_{10}$  y Energía de activación (Ea). La cinética de degradación corresponde a un modelo de primer orden; siendo la velocidad de reacción  $K_{27^{\circ}\text{C}} = 0,0017806$ ;  $K_{16^{\circ}\text{C}} = 0,0012819$  y  $K_{8^{\circ}\text{C}} = 0,0012763 \text{ min}^{-1}$ ; el tiempo de reducción decimal  $D_{27^{\circ}\text{C}} = 9,36$ ,  $D_{16^{\circ}\text{C}} = 13,00$  y  $D_{8^{\circ}\text{C}} = 13,06$  h; el tiempo de vida media  $T_{0,5 (27^{\circ}\text{C})} = 6,49$ ,  $T_{0,5 (16^{\circ}\text{C})} = 9,01$  y  $T_{0,5 (8^{\circ}\text{C})} = 9,05$  h; el valor de  $Q_{10} = 0,833$  y la Energía de activación 3,066 Kcal/mol. El jugo fresco tuvo 74,034 mg de ac. Ascórbico/100 g, el cual se redujo en 48 % en 6 horas a 27°C, 37 % a 16 °C y 33 % a 8 °C. Por tanto, se debe evitar la exhibición del jugo de naranja aún a temperaturas bajas, debido a la pérdida significativa de vitamina C.

**Palabras clave:** Jugo de naranja; vitamina C; degradación; parámetros cinéticos; frío.

#### ABSTRACT

The aim of the research was to establish the kinetics of vitamin C degradation in orange juice packaged and displayed at room and cold temperatures. Vitamin C was evaluated in juice packaged in transparent plastic bottles at 27, 16 and 8 °C for six hours; degradation rate (K), decimal reduction time (D), half-life ( $T_{0,5}$ ),  $Q_{10}$  and activation energy (Ea) were determined. The degradation kinetics corresponds to a first order model; the reaction rate  $K_{27^{\circ}\text{C}} = 0,0017806$ ;  $K_{16^{\circ}\text{C}} = 0,0012819$  and  $K_{8^{\circ}\text{C}} = 0,0012763 \text{ min}^{-1}$ ; the decimal reduction time  $D_{27^{\circ}\text{C}} = 9,36$ ,  $D_{16^{\circ}\text{C}} = 13,00$  and  $D_{8^{\circ}\text{C}} = 13,06$  h; the half-life  $T_{0,5 (27^{\circ}\text{C})} = 6.49$ ,  $T_{0,5 (16^{\circ}\text{C})} = 9.01$  and  $T_{0,5 (8^{\circ}\text{C})} = 9.05$  h; the value of  $Q_{10} = 0.833$  and the Activation Energy 3,066 Kcal/mol. The fresh juice had 74,034 mg of ascorbic acid/100 g, which was reduced by 48 % in 6 h at 27 °C, 37 % at 16 °C and 33 % at 8 °C; Therefore, the display of orange juice should be avoided even at low temperatures, due to the significant loss of vitamin C.

**Keywords:** Orange juice; vitamin C; degradation; kinetic parameters; refrigeration.

Recibido: 15-12-2022.

Aceptado: 23-03-2023.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

La vitamina C o ácido ascórbico es el principal antioxidante no enzimático hidrosoluble presente en el plasma, su ingesta ha sido asociada a un sin número de beneficios (Villagrán, et al., 2019). No se sintetiza en el organismo, se oxida por exposición prolongada con el aire y por no conservarlos en recipientes oscuros (Valdés, 2006), y se encuentra principalmente en vegetales frescos, al ser hidrosoluble, el organismo no la almacena, a diferencia de otras vitaminas, por lo que los excesos se eliminan en la orina (Badui, 2006).

La vitamina C es muy inestable durante el procesamiento térmico y está influenciada por factores como la temperatura, el oxígeno y la luz (Arya et al., 2019). Para mantener niveles óptimos de vitamina C, es recomendable una ingesta diaria de 200 mg/día, lo que reduce el riesgo de cáncer en varias localizaciones, enfermedades cardiovasculares y cataratas, además, se ha asociado a varios índices de reducción del riesgo de enfermedad cardiovascular, como el aumento de las HDL y la disminución de la oxidación de las LDL, la presión arterial y la mortalidad cardiovascular (Cimmino et al., 2019).

El ácido ascórbico es un agente antioxidante necesario para la formación y mantenimiento adecuado del material intercelular; puede reducir la acción perjudicial de los radicales libres y coadyuva al mejoramiento de la absorción del hierro no hemínico; su carencia puede provocar hemorragias acompañada de una pobre cicatrización y lento proceso de curación de las heridas, así como anemia; su poder vitamínico radica en la prevención del escorbuto (Bastías & Cepero 2016).

Esta vitamina es considerada un antioxidante natural, soluble en agua, donante de electrones y antiinflamatorio de gran alcance (Manayay et al., 2019) que previene los deterioros en las macromoléculas del cuerpo humano formados por los radicales libres, igualmente está ligado con la síntesis de aminoácidos, facilita la producción de

colágeno, la desintoxicación del hígado y la prevención de enfermedades cardiovasculares (Castillo, 2019).

Además, es altamente sensible a diversas operaciones de procesamiento y almacenamiento, los factores principales que afectan la degradación de esta vitamina en el zumo de naranja comprenden: Oxígeno, pH, enzimas, la luz, los catalizadores metálicos y las altas temperaturas (Cabanillas, 2020)

El zumo de naranja es el segundo zumo más consumido en todo el mundo (Araya et al., 2021), bebida popular que se consume diariamente en la mayoría de los países (Paravisini & Peterson, 2019), se caracteriza por ser fuente de vitamina C importante en la nutrición humana.

Debido a las medidas sanitarias y exigencias de inocuidad por la pandemia del COVID 19, la venta de jugo fresco de naranja exprimido al instante ha sido sustituido por jugo envasado en frascos de plástico transparente, los que son exhibidos a temperatura ambiente y en frío; para ello, el jugo es extraído con varias horas de anticipación, envasado y expuesto a la vista del público, a la luz, a la temperatura ambiente y otras veces enfriados con hielo; condiciones que ocasionan pérdidas de vitamina C; por lo que resulta importante conocer dichas pérdidas y la cinética de degradación en las condiciones descritas anteriormente.

Se han estudiado la cinética de degradación de la vitamina C en jugo de naranja sometida a tratamientos térmicos (Aucayauri, 2011; Villacís, 2015), y la cinética de degradación de la vitamina C como índice de calidad y nutricional para determinar las condiciones óptimas de almacenamiento en zumos de cítricos casero fresco (Nakilcioğlu-Taş & Ötleş, 2020); pero no existe estudios en jugo de naranja frescos envasados y exhibidos a temperatura ambiente y en frío; por lo que, en el presente trabajo se determinó la cinética de degradación de la vitamina C en jugo de naranja envasado a temperatura ambiente y en frío.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### **Materia prima**

Naranjas variedad Valencia, adquiridos en el mercado local de la ciudad de Chanchamayo, en estado maduro.

### **Preparación de la muestra**

Recepción: Naranjas frescas, en buen estado de sanidad

Selección: Se separaron las naranjas con calidad sanitaria adecuada y de acuerdo al grado de madurez requerido para el experimento.

Lavado: Con abundante agua potable, primero con el uso de una esponja se retiraron restos visibles y otros compuestos adheridos a la cáscara, posteriormente se enjuagó y luego se orearon.

Pelado: con cuchillos de acero inoxidable, evitando eliminar demasiado el albedo.

Exprimido: Se cortaron las naranjas en mitades y se presionaron con un exprimidor a fin de obtener el jugo, esta operación se realizó en condiciones de higiene.

Filtrado: Con un colador de malla de 1.0 mm de diámetro

Envasado: El jugo se llenó en envases de PVC rígido de 250 ml cada uno, obteniendo 6 botellas por tratamiento, haciendo un total de 18 botellas en 3 tratamientos, con 3 repeticiones siendo en total 54 botellas.

Conservación: En cada muestra se realizó la determinación del contenido de vitamina C cada hora, por un tiempo de 6 horas.

### Métodos de análisis

#### Análisis fisicoquímico

Sólidos solubles, método refractométrico a 20 °C (AOAC 932.12)

pH, método potenciométrico (AOAC 981.12)

Acidez titulable, método de titulación (AOAC 942.15)

#### Contenido de Vitamina C

Método espectrofotométrico, la concentración de vitamina C se determinó según el método oficial de la AOAC 967.21 con 2,6-dicloroindofenol (2,6 DFIF) (AOAC, 1995, citado por Cabanillas, 2020).

#### Parámetros cinéticos

El cálculo de los parámetros cinéticos de degradación de la vitamina C, se realizó utilizando las siguientes formulas, referenciados por Cabanillas (2020):

a. Modelo cinético para orden cero

$$[A] = [A_0] \pm Kt \quad (1)$$

b. Modelo cinético para orden uno

$$[A] = [A_0] \pm e^{kt} \quad (2)$$

[A<sub>0</sub>] concentración inicial del atributo medido

[A] concentración del atributo medido a tiempo *t*

*k* una velocidad constante de reacción expresada en min<sup>-1</sup>

*t*, tiempo en minutos.

*c*, Determinación de la constante *K*.

$$K = K_0 \exp^{-E_a/RT} \quad (3)$$

*k* constante de velocidad de reacción

*k*<sub>0</sub> factor pre- exponencial

*E<sub>a</sub>* energía de activación en kcal/mol

*R* constante universal de los gases (1,9872 cal/K.mol) o (8,3145 J/K.mol)

*T* = temperatura absoluta en grados kelvin (K)

c. Tiempo para reducir el 50% la concentración original de vitamina C

$$T_{0,5} = \ln(10)/k \quad (4)$$

d. Cambio de la constante de velocidad de una reacción al aumentar la temperatura en 10°C.

$$Q_{10} = [K_2/K_1]^{10/(T_2 - T_1)} \quad (5)$$

### Diseño de la investigación

En la tabla 1 se observa la distribución de las muestras.

**Tabla 1**

Distribución de las muestras

Temperatura de conservación	Tiempo de evaluación (h)	Muestras
8 °C	1	M1
	2	M2
	3	M3
	4	M4
	5	M5
	6	M6
16 °C	1	M7
	2	M8
	3	M9
	4	M10
	5	M11
	6	M12
27 °C (T. ambiente)	1	M13
	2	M14
	3	M15
	4	M16
	5	M17
	6	M18

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización fisicoquímica del jugo de naranja

Los valores de sólidos solubles en el jugo de naranja, son similares a los resultados presentados por Araya et al., (2021) 9,0 °Brix, Rodríguez-Arzave et al. (2020) 10,71 °Brix, y Moreno et al. (2004) 10,02 °brix; asimismo, la NTP. 2003.110 (2009) para jugos, néctares y bebidas de frutas indica 10 brix; se confirma que en términos de gusto y sabor no hubo variación durante la evaluación que afecte su calidad sensorial y aceptación.

En el pH se observó una ligera variación, valores similares han reportado Araya et al. (2021) 3,97, Aucayauri (2011) 3,4 en pH y 0,576 de acidez; y Hernández et al. (2020) 3,22 – 3,70 en pH mas no

en acidez 0,65-0,97g ácido cítrico/100 ml; por otro lado, la NTP. 2003.110 (2009) establece un pH inferior a 4,5 como requisito específico para bebidas de frutas, los valores en el jugo de naranja se encuentran dentro de este límite.

Las fluctuaciones en el jugo de naranja en pH y acidez se deben al tiempo y temperatura de almacenamiento, que se van haciendo levemente más ácidas conforme transcurre el tiempo, la que reviste de gran importancia ya que los ácidos orgánicos influye notablemente sobre las propiedades sensoriales de las bebidas (Schwab et al., 2013), y un jugo de naranja presenta características sávido-aromáticas agradables cuando la acidez alcanza valores de 1% y pH 3,5 (Lombard (1996) citado por Hours et al. (2005).

**Tabla 2**  
Parámetros fisicoquímicos del jugo de naranja a temperatura ambiente y en frío

Parámetro	Tiempo (h)	Temperatura		
		Ambiente (27 °C)	16 °C	8 °C
Sólidos solubles (°Brix)	0	10,2±0,2	10,1±0,1	9,5±0,1
	1	10,1±0,1	10,0±0,0	9,5±0,2
	2	10,1±0,1	10,1±0,2	9,5±0,1
	3	10,1±0,0	10,1±0,1	9,5±0,1
	4	10,1±0,1	10,1±0,1	9,5±0,0
	5	10,0±0,0	10,0±0,0	9,5±0,1
	6	10,1±0,1	10,0±0,0	9,5±0,0
pH	0	3,55±0,01	3,57±0,01	3,77±0,01
	1	3,67±0,01	3,95±0,00	4,00±0,00
	2	3,93±0,00	3,75±0,02	3,67±0,02
	3	3,53±0,02	3,64±0,00	3,52±0,01
	4	3,45±0,00	3,38±0,01	3,58±0,05
	5	3,29±0,02	3,35±0,00	3,45±0,00
	6	3,26±0,00	3,35±0,02	3,42±0,01
Acidez titulable	0	0,346±0,007	0,346±0,009	0,358±0,005
	1	0,256±0,009	0,307±0,005	0,269±0,008
	2	0,282±0,012	0,282±0,010	0,256±0,007
	3	0,320±0,003	0,301±0,006	0,288±0,008
	4	0,333±0,014	0,314±0,004	0,384±0,006
	5	0,378±0,010	0,371±0,009	0,390±0,008
	6	0,397±0,004	0,429±0,010	0,422±0,012

### Contenido de vitamina C del jugo de naranja según tratamiento

La calidad nutricional de los zumos de fruta se decide en función de su contenido en vitamina C (Araya et al., 2021), especialmente tratándose de jugo de naranja. Durante el almacenamiento, cuando la temperatura es menor la degradación de la vitamina C también es menor respecto al tiempo; el contenido inicial de vitamina C es similar a los reportados por Zapata & Sunció (2021) 71 mg/100 g, Aucayauri (2011) 76 mg/100 g y Andrade et al. (2016) 78 mg/100g; pero superior al reportado por Rodríguez-Arzave (2020) 56,01 mg/100 ml, y ligeramente inferior al reportado por Bozkir & Tekgül (2022) 80,42 mg/100 ml; variaciones asociadas a factores como variedad, prácticas de cultivo, maduración, tiempo y temperatura durante el periodo de cosecha (Hours et al., 2005); la vitamina C es uno de los antioxidantes más conocidos (Villagrán et al., 2019), sin embargo, durante el almacenado por 6 horas a 27°C tuvo una pérdida de 48 %, a 16°C la pérdida fue de 37% y a 8°C 33%; el mayor porcentaje de retención ocurre cuando se almacena a 8°C, la temperatura y el tiempo son factores que degradan la vitamina C (Ore et al., 2020), por tanto la temperatura de refrigeración influye en la conservación de la vitamina C en el jugo de naranja, pero se aprovecha mejor cuando el jugo es fresco recién exprimido; por ello, diversos autores recomiendan consumir el jugo de naranja recién exprimido con la finalidad de evitar la oxidación que se produce con rapidez si se deja el zumo de naranja a temperatura ambiente (Basulto, 2014). Las pérdidas observadas, son similares al reportado por Riera et al. (2022), quienes determinaron que, la concentración de ácido

ascórbico en el jugo de *Citrus aurantifolia* (limón) se redujo cerca del 40% respecto a su concentración inicial, al exponerlo a 75 °C durante 20 min., pero inferior al determinado en pulpa de néctar de durazno con 54,15% durante el flujo de producción al usar 75 °C en la pasteurización (Cedeño et al., 2021).

**Tabla 3**

Contenido de vitamina C (mg de ac. Ascórbico/100 g muestra) en jugo de naranja durante seis horas

Tiempo (min)	Temperatura		
	Ambiente (27 °C)	16 °C	8 °C
0	74,034±0,012	74,034±0,012	74,034±0,012
60	65,322±0,105	68,581±0,102	72,081±0,095
120	58,805±0,018	64,324±0,099	67,781±0,094
180	51,423±0,020	58,631±0,009	62,324±0,022
240	46,190±0,101	54,621±0,100	57,768±0,026
300	42,108±0,040	51,461±0,101	53,542±0,115
360	38,607±0,009	46,420±0,102	49,328±0,114

### Cálculo del orden de reacción

De acuerdo a los coeficientes de regresión ( $R^2$ ) la degradación de la vitamina C siguió el modelo cinético de primer orden, similar al mencionado por Nakilcioğlu-Taş & Ötleş (2020), quienes trabajando con zumo de mandarina, pomelo, naranja y lima también determinaron un modelo cinético de primer orden; también Riera & Gómez (2019<sup>a</sup>, 2019<sup>b</sup>) reportó modelos semejantes en jugo de Lulo y en maracuyá, pitahaya, limón y grosella sin adición de azúcar; Villacís (2015) señala que la degradación del ácido ascórbico es proporcional a la concentración del mismo ácido dentro del conjunto; Teixeira et al. (2004) indica que las reacciones de primer orden son las más frecuentes en alimentos y estas reacciones son:

desarrollo microbiano, degradación de vitaminas y pigmentos durante el procesamiento y almacenamiento; las reacciones de cinética de primer orden implicados en el almacenamiento y procesamiento produce en el producto una disminución del valor nutricional (Zamora, 2018); de acuerdo a los resultados se comprueba que la reacción en estudio es de primer orden.

**Constante de degradación (K), tiempo de reducción decimal (D), tiempo para reducir el 50% la concentración inicial de vitamina C (T<sub>0.5</sub>), coeficiente de temperatura Q<sub>10</sub> y Energía de Activación (E<sub>a</sub>)**

Los valores de la constante de velocidad de reacción (K) disminuyen conforme se disminuye la temperatura; comportamiento similar han reportado en maracuyá (0,223 a 0,213 h<sup>-1</sup>), pitahaya

(0,075 a 0,070 h<sup>-1</sup>), limón (0,169 a 0,162 h<sup>-1</sup>) y grosella (0,217 a 0,215 h<sup>-1</sup>) cuando se reduce la temperatura de 28 a 8 °C (Riera & Gómez, 2019)<sup>b</sup>; en jugo de parchita sin pasteurizar (0,1369 a 0,0370 min<sup>-1</sup>) cuando se reduce la temperatura de 10 a 0 °C (Páez et al., 2007); en jugo de naranja concentrado en evaporador rotativo (1,336 a 0,609 h<sup>-1</sup>) y concentrado en microonda con evaporación al vacío (0,806 a 0,382) cuando se reduce la temperatura de 80 a 60 °C (Bozkir & Tekgül, 2022); la disminución de la velocidad de reacción es de 28,01% cuando la temperatura baja de 27 a 16 °C, a partir de esta temperatura la vitamina C es más estable, ya que a 8 °C la disminución de la velocidad de reacción (28,32%) es muy similar que a 16 °C, por lo que, se puede afirmar que su degradación está en función a la temperatura de almacenamiento.

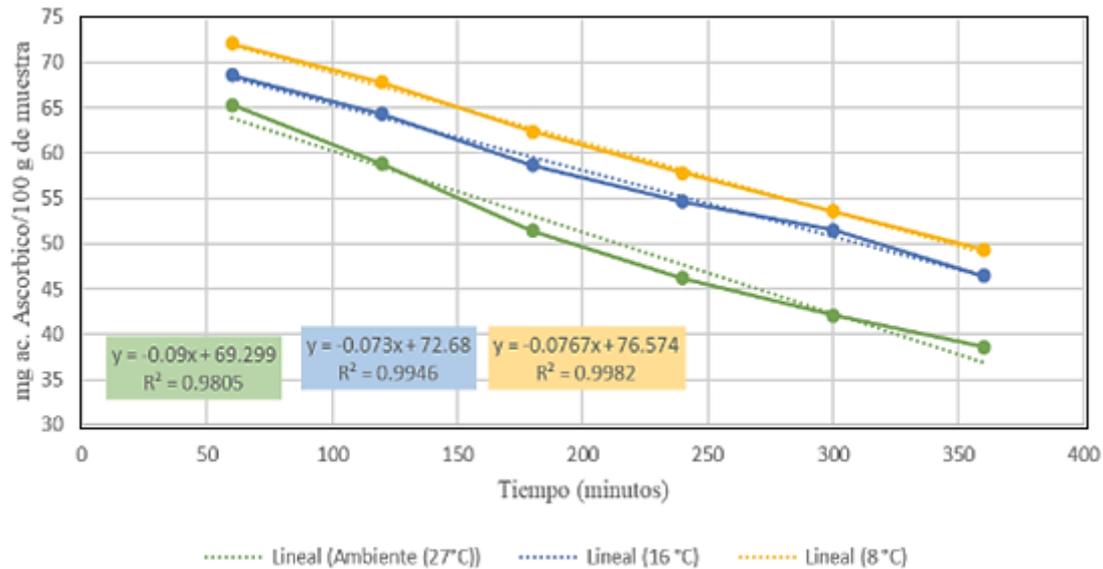


Figura 1. Cinética de degradación de la vitamina C en jugo de naranja, reacción de orden 0.

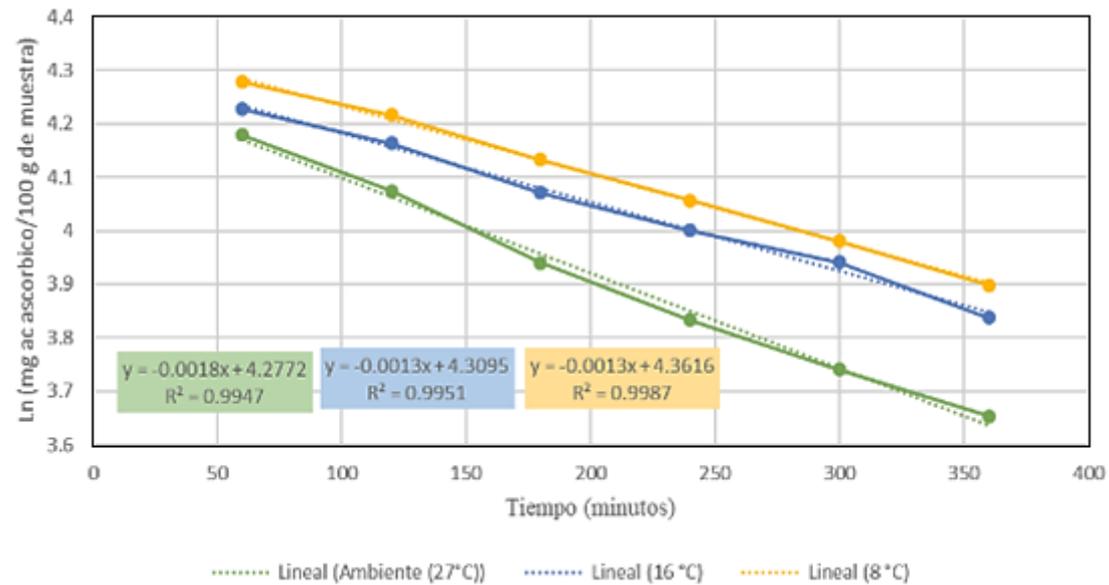


Figura 2. Cinética de degradación de la vitamina C en jugo de naranja, reacción de orden 1.

Los valores de D indican que se requiere ese tiempo para reducir un ciclo logarítmico el contenido de vitamina C en el jugo de naranja, es decir a menor temperatura más lenta la degradación; Singh (2016) señala 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; igual comportamiento se observa en  $T_{0,5}$  ya que a 27 °C se requiere 6,49 min para reducir a la mitad la concentración de vitamina C, mayor tiempo de 9,01 y 9,05 min cuando la temperatura es de 16 °C y 8 °C respectivamente; al respecto, Nakilcioğlu-Taş & Ötleş (2020), determinó una vida media entre 6,095 y 17,411 h en jugo de naranja en vasos de vidrio, botellas de vidrio tapadas y botellas de vidrio tapadas y cubiertos con papel aluminio a 25 y 4 °C; lo que confirma que, la vida media de la vitamina C aumenta cuando se disminuye la temperatura; otros autores han evaluado estos parámetros como Quillimamani et al. (2022) en pulpa de tumbo, Barreto & Rojas (2021) en pulpa de camu camu, Zamora (2018) en jugo de arándano, Bozkir & Tekgül (2022) en zumo concentrado de naranja, quienes reportan valores diferentes pero que siguen el mismo comportamiento; el tiempo de reducción decimal “es el tiempo necesario para destruir el 90% de la concentración de la sustancia en estudio, siendo numéricamente igual al número de minutos necesarios para que la curva de destrucción térmica atravesase un ciclo logarítmico” (Rosales, 2010) por lo que sería necesario 9,36 h (561,6084 min) para reducir el 90% de la vitamina C almacenada a 27 °C y 13,06 h (783,5148 min) cuando se almacena a 8 °C.

El valor de  $Q_{10}$  nos indica que la velocidad de degradación disminuye en un equivalente a 0,833 cuando se baja la temperatura del jugo de naranja en 10 °C en el rango de estudio, valor inferior al reportado por Ordoñez & Yoshioka (2012) en

pulpa de mango ( $Q_{10} = 1,41$ ), pulpa de rosa canina L ( $Q_{10} = 1,21$ ) en rangos de temperatura 60 – 90 °C. En productos alimenticios almacenados se puede duplicar la vida útil al reducir en 10 °C su temperatura (Barreto & Rojas, 2021); por ello, la vitamina C del jugo de naranja es más estable cuando se disminuye la temperatura de conservación.

La ( $E_a$ ) es la energía mínima necesaria para que una reacción tenga lugar y se forme un complejo activado, representa la barrera de energía que se debe superar para que se produzca la reacción (Rodríguez, 2009); el valor de  $E_a$  indica que, se necesita 3,066 kcal/mol para que se produzca la reacción de degradación de la vitamina C; valor similar ha reportado en jugo de naranja clarificado  $E_a = 3,0778$  kcal/mol en un rango de temperatura de 70,3 a 97,6 °C (Manso et al., 2001), superior al jugo de limón  $E_a = 1,6013$  Kcal/mol a temperaturas de entre 65 a 95 °C (Riera et al., 2022) y  $E_a = 2,0076$  Kcal/mol a temperaturas de entre 70 a 90 °C (Acevedo et al., 2004), pero menor al mostrado por Aucayauri (2011) de  $E_a = 6,297$  kcal/mol en zumo de naranja a temperaturas de 70 a 90 °C y Bozkir & Tekgül (2022)  $E_a = 9,198$  y  $8,773$  kcal/mol en zumo de naranja concentrado a temperaturas de 60 a 80°C en evaporador rotativo y microonda con evaporador al vacío respectivamente; las diferencias se deben a factores de rango de temperatura, matriz biológica, geometría de la muestra, concentración de oxígeno, humedad, pH, los cuales han sido estudiados previamente en otras investigaciones referente a cinética de degradación de vitamina C (Ordoñez et al., 2013). El resultado encontrado indica que la vitamina C en el jugo de naranja es sensible a los cambios de temperaturas en el rango evaluado, porque ( $E_a$ ) es un indicador de la sensibilidad de la reacción al cambio de temperatura (Kadalkal et al., 2017).

**Tabla 4**

Constante de degradación (K), tiempo de reducción decimal (D), tiempo para reducir el 50% la concentración inicial de vitamina C ( $T_{0,5}$ ), coeficiente  $Q_{10}$  y Energía de activación  $E_a$  de la Vitamina C a temperatura ambiente y frío

Temperatura (°C)	$C_0$ [ ] inicial de vitamina C	K (min <sup>-1</sup> ) (orden 1)	D (min) 1/K	$T_{0,5}$ (h) Ln2/K	$Q_{10} = (K_2/K_1)^{10/(t_2-t_1)}$	$E_a^*$ kcal/mol
27		0,0017806	561,6084	6,49		
16	74,034	0,0012819	780,0921	9,01	0,833	3,066
8		0,0012763	783,5148	9,05		

\*  $E_a =$  pendiente ecuación de Arrhenius \*  $R = 1544 * 8,314$  J/mol = 3,066 kcal/mol.

## CONCLUSIONES

La cinética de degradación de vitamina C en jugo de naranja en envase transparente a temperatura ambiente y en frío, corresponde a un modelo cinético de primer orden, el contenido de vitamina C en jugo fresco fue de 74,034 mg de ac. ascórbico/100 g de muestra, que se redujo en 48% a 27 °C (temperatura ambiente), 37% a 16 °C y 33% a 8 °C en las 6 h de exhibición. A menor temperatura menor fue la degradación de la vitamina C; la velocidad de reacción (K) disminuyó al bajar la temperatura; el tiempo de reducción decimal D y el

tiempo de vida media  $T_{0,5}$  aumentó cuando decrece la temperatura; el valor  $Q_{10}$  fue 0,833 y la Energía de activación 3,066 kcal/mol, valor que indica la sensibilidad de la vitamina C a los cambios de temperatura. Por lo que, de preferencia se debe consumir jugo fresco recién exprimido, ya que las pérdidas por exposición al medio aún en condiciones de frío (8 °C) resultan significativas. Es necesario realizar estudios de cinética de degradación en envases no transparentes a diferentes temperaturas en contraste con envases transparentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. (2007). Official Methods Analysis of AOAC International". 18th edition, Maryland, USA. 932.12; 981.12; 942.15.
- Acevedo, B., Montiel, M., & Avanza, J. (2004). Estudio cinético de la degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos por tratamiento térmico. *FACENA*, 20, 91-95.
- Aucayauri, E. (2011). Estudio de la cinética de degradación térmica de ácido ascórbico durante la pasteurización de zumo de naranja valencia (*Citrus sinensis*). (Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú).
- Arya, S. S., More, P. R., Terán Hilaes, R., Pereira, B., Arantes, V., da Silva, S. S., & Santos, J. C. (2021). Effect of thermally assisted hydrodynamic cavitation (HC) processing on physical, nutritional, microbial quality, and pectin methyl esterase (PME) inactivation kinetics in orange juice at different time and temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15794.
- Arya, S. S., Sawant, O., Sonawane, S. K., Show, P. L., Waghmare, A., Hilaes, R., & Santos, J. C. D. (2020). Novel, nonthermal, energy efficient, industrially scalable hydrodynamic cavitation-applications in food processing. *Food Reviews International*, 36(7), 668-691.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson educación
- Barreto, L. & Rojas, N. (2021). *Cinética de degradación del ácido ascórbico durante la conservación por refrigeración y congelación del camu camu (Myrciaria Dubia (H.B.K.) Mc Vaugh)*. (Tesis de grado, Universidad del Centro del Perú).
- Bastías, J. M., & Cepero, Y. (2016). La vitamina C como un eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos. *Revista chilena de nutrición*, 43(1), 81-86.
- Basulto, J. (2014) (20 de noviembre 2022). El zumo de naranja, ¿pierde vitamina C si no se bebe enseguida? *Eroski consumer*.
- Bozkir, H., & Tekgöl, Y. (2022). Production of orange juice concentrate using conventional and microwave vacuum evaporation: Thermal degradation kinetics of bioactive compounds and color values. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(6), e15902.
- Cabanillas, E., & Aurora, E. F. (2020). *Estudio de la cinética de degradación de vitamina C y color de pulpa de pitahaya (Hylocereus monacanthus) pasteurizada*. (Tesis de grado, Universidad Señor de Sipan).
- Castillo, E. (2019). Vitamina C en la salud y enfermedad. *Rev. Fac. Med. Hum.*, 19(4).
- Cedeño, L., Díaz, R., Armijos, G., San Martín, D., & Porras, M. (2021). Degradación del ácido ascórbico en néctar de durazno enriquecido. *Journal of Science and Research: Vol 7(1)* 53-65.
- Cimmino, L., Neel, B. & Aifantis, I. (2018). Vitamina C en la reproducción de células madre y el cáncer. *Tendencias Cell Bio*. 28(9), 698-708.
- Hernández-Torres, M., Calderón-Fernández, R. & Rodríguez-Arzave, J. (2020). Determinación de prolina en zumos de naranja comerciales como parámetro de genuinidad. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología*, 5, 211-216.
- Hours, R., Ferryra, M., Schvab, M., Gerard, L., Zapata, L., & Davies, C. (2005). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de jugos de naranja destinados a vinificación. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 16(31), 219-239.
- Kadakal, Ç.; Duman, T., & Ekinci, R. (2017). Thermal degradation kinetics of ascorbic acid, thiamine and riboflavin in rosehip (*Rosa canina* L) nectar. *Food Science and Technology*, 38(4), 667-673.
- Manayay, D., Taramona, L., & Jordan, O. (2019). Contenido de vitamina C en hojas de perejil (*Petroselinum crispum*) secado por flujo de aire a diferentes velocidades y temperatura. *Rev. Investigaciones ULCB*, 6(1), 87-99.
- Manso, M.C., Oliveira, J. C., & Frias, J. M. (2001). Modelling Ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(3), 303-312.
- Moreno, M., Machado, A., Padrón, A., García, D., & Belen, D. (2004). Evaluación microbiológica y fisicoquímica de bebidas pasteurizadas fortificadas con extractos de desechos desodorizados de naranja. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(3).
- Nakilcioğlu-Taş, E., & Ötleş, S. (2020). Kinetic modelling of vitamin C losses in fresh citrus juices under different storage conditions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(2): e20190328.
- NTP. Norma Técnica Peruana 203.110:2009. Requisitos fisicoquímicos y organolépticos para jugos y néctares y bebidas de frutas. Indecopi. Lima.
- Ordoñez-Santos, L., & Yoshioka-Tamayo, L. (2012). Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). *Vitae*, 19(1), S81-S83
- Ordoñez-Santos, L., Ospina, M., & Rodríguez, D. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de investigación*. Vol. 10 (2), pp. 44-51.
- Ore, H., Aldana, W., Salazar, C., & Ludeña, A. (2020). Efecto de la temperatura, presentación, tiempo y tipo de envase en la degradación de la vitamina C en mandarina (*Citrus unshiu*) mínimamente procesada y su modelamiento cinético óptimo. *Revista Pakamuros*. 8(2), 50-64.
- Páez, G., Freay, J., Moreno, M., Mármol, Z., Araujo, K., & Rincón, M. (2008). Cinética de la degradación del ácido ascórbico en jugo de parchita. *Afinidad LXV*. 533.
- Paravisini, L., & Peterson, D. G. (2019). Mechanisms non-enzymatic browning in orange juice during storage. *Food Chemistry*, 289, 320-327.
- Quillimamani, S., Chambi, A., & Coaquira, J. (2022). Evaluación de la cinética de degradación térmica de la vitamina C en la pulpa de tumbo (*Pasiflora mollissima* b). *Fides Et Ratio*. Vol. 24(24).
- Riera M., & Gómez, Y. (2019<sup>a</sup>). Cinética de la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de lulo (*Solanum Quitoense* Lam.). *Ciencia y Tecnología*. Vol. 35 (1): 1-7.
- Riera, M., & Gómez, Y. (2019). Influencia de las condiciones de almacenamiento en la degradación de vitamina C. *Publicaciones en ciencias y tecnologías*. Vol. 13(2) 3-11.
- Riera, M., Gómez, Y., & Córdova-Mosquera, R. (2022). Degradación térmica del ácido ascórbico en jugo de limón. *Revista de I+D tecnológico*, 18(1), 74-81.
- Rodríguez-Arzave, J., Florido-Aguilar, A., & Hernández-Torres, M. (2020). Determinación de parámetros fisicoquímicos en jugos de frutas cítricas. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos*, 5, 233-238.
- Rodríguez, T. (2009). *Las reacciones orgánicas*. Universidad de Burgos.
- Rosales, H. (2010). Conservación de alimentos por calor, cinética de la destrucción térmica. *Universidad nacional del centro del Perú*. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Huancayo - Perú.
- Singh, P. (2016). Aplicaciones Informáticas en Tecnología de Alimentos. *Aplicaciones Informáticas en Tecnología de Alimentos*. Elsevier.
- Schvab, M., Ferreyra, M., Gerard, L., & Davies, C. (2013). Parámetros de calidad de jugos de naranja entrerrianas. *Revista Iberoamérica de tecnología postcosecha*, 14(1), pp 85-92.
- Teixeira, R., Vitali, A., & Moura, S. (2004). Introdução à cinética de reação em alimentos. in: reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados. Ed. Campinas: ITAL. 3<sup>o</sup> edición. pp. 63-83. (Manual Técnico n°6).
- Valdés, F. (2006). Vitamina C. *Actas Dermo-sifilográficas*, 97(9), 557-568.
- Villacís, J. (2015). *Determinación de la cinética de degradación de ácido ascórbico en zumo de naranja (Citrus sinensis var. valencia) sometida a calentamiento y radiación ultravioleta para su aplicación en procesos tecnológicos*. (Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato).
- Villagrán, M., Muñoz, M., Díaz, F., Troncoso, C., Celis-Morales, C., & Mardones, L. (2019). Una mirada actual de la vitamina C en salud y enfermedad. *Revista chilena de nutrición*, 46(6), 800-808.
- Zamora, A. (2018). *Cinética de degradación térmica de vitamina C en jugo concentrado de arandano (Vaccinium corymbosum L.)* (Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga).
- Zapata, Y., Sunción, M. (2021). *Evaluación de las características físico-químicas, microbiológicas y organolépticas del jugo de naranja (Citrus sinensis) tratado con quitosano*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de Tumbes).