

## Efecto de la temperatura y radiación ultravioleta de onda corta en el contenido de ácido L-ascórbico en zumo de naranja (*Citrus sinensis*)

Acurio Liliana<sup>1</sup>, Villacís José<sup>1</sup>, Salazar Diego<sup>1</sup>, Pérez Lander<sup>1</sup>, Valencia Alex<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Avenida Los Chasquis y río Payamino. C.P. 18-01-0334. Ambato (Ecuador)

Email: [lp.acurio@uta.edu.ec](mailto:lp.acurio@uta.edu.ec)

### Resumen

Durante el procesado de zumo de naranja se producen pérdidas considerables de vitamina C, disminuyendo así la cantidad de este compuesto con amplia actividad biológica. El objetivo de este estudio fue determinar un modelo matemático que permita describir la tasa de pérdida de ácido L-ascórbico en un proceso de calentamiento y radiación ultravioleta de onda corta en zumo de naranja. El efecto de la temperatura se determinó durante 3 horas con un baño termostático a 20; 62 y 92 °C (manteniéndose una precisión de 1 °C). Para el proceso lumínico las muestras fueron colocadas en una cámara provista con dos lámparas UVC y sometidas durante 3 horas a 30, 40 y 50 cm de la fuente de radiación. Cada 15 minutos se extrajeron muestras para valorar el contenido de ácido L-ascórbico con 2,6-diclorofenolindofenol. En ambos casos, la cinética de degradación fue de primer orden. Los resultados indican que a 92 °C se degradó el 48% del ácido ascórbico total inicial; el empleo de radiación ultravioleta de onda corta hizo que la pérdida de ácido ascórbico no excediese el 16 %del total inicial.

**Palabras clave:** UVC, vitamina C, vida útil, valor D, valor z.

### Abstract

During processing of orange juice, losses of vitamin C are produced, decreasing the amount of this compound with broad biological activity. The objective of this study was to determine a mathematical model to describe the rate of loss of L-ascorbic acid in a process of heating and shortwave ultraviolet radiation in orange juice. The effect of temperature was determined for 3 hours with a water bath at 20, 62 and 92 ° C (maintained to within 1 ° C). For the lighting process the samples were placed in a chamber provided with two UVC and subjected for 3 hours at 30, 40 and 50 cm from the radiation source. Every 15 minutes samples were taken to assess the content of L-ascorbic acid with 2,6-dichlorophenol. In both cases, the degradation kinetics was first order. The results indicate that at 92 ° C was degraded 48% of the total initial ascorbic acid. The use of shortwave ultraviolet radiation caused the loss of ascorbic acid did not exceed 16% of the total initial.

**Keywords:** UVC, vitamin C, lifetime value D, z value.

## I. Introducción

Los zumos de frutas cítricas son los más populares, representando más del 50% del comercio internacional de zumos. De ellos, el zumo de naranja es el más procesado por la industria de bebidas de todo el mundo (Tiwari et al., 2009). El consumo de jugo de naranja se asocia con un aporte importante de vitamina C al organismo, esto atrae la atención de la comunidad científica hacia la conservación de éste nutriente con amplia actividad biológica e importancia en la salud humana (Stešková et al., 2006). La vitamina C es más sensible a la destrucción cuando el producto se somete a condiciones de manipulación y almacenamiento adversas. Las pérdidas son favorecidas por un almacenamiento prolongado, temperaturas altas, humedad relativa baja, daño físico y daño por frío (Lee y Kader, 2000).

Por otra parte, en los últimos años se observa una creciente demanda por productos frescos y saludables, esto ha conllevado a que la industria de alimentos busque tecnologías de procesamiento no térmico como alternativas a los tratamientos térmicos. La aplicación de radiación ultravioleta de onda corta (UVC: 200-280 nm) se considera una tecnología prometedora para la pasteurización de jugos debido a su capacidad para inactivar una amplia gama de microorganismos con pérdidas nutricionales y sensoriales mínimas (Lopez-Malo y Palou, 2005). Varios autores han demostrado la capacidad de los tratamientos UV para reducir con éxito la población de bacterias (Basaran et al., 2004; Gabriel y Nakano, 2009), levaduras (Gouma et al., 2015) y mohos (Keyser et al., 2008) en jugos de frutas. Por el contrario, existe mínima

información sobre la degradación de ácido L-ascórbico al aplicar ésta tecnología.

Por lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue determinar de la cinética de degradación de ácido L-ascórbico en zumo de naranja (*Citrus sinensis*) de la variedad Valencia) sometida a calentamiento y radiación ultravioleta de onda corta.

## II. Métodos y materiales

Se utilizaron naranjas de variedad Valencia seleccionadas mediante muestreo aleatorio, de una partida producida en la Hacienda "Mantilla" de la provincia de Los Ríos (Ecuador). La extracción de jugo se realizó usando un extractor de jugo semi-industrial Sanna K-0069. Del zumo extraído se determinaron los grados Brix con un refractómetro Vee Gee Bx – 1 con (0 y 32 °Brix) a 20 °C, y el pH mediante un potenciómetro Hanna HI 9216 previamente calibrado.

La determinación de ácido L-ascórbico se realizó por el método de Tillmans reportado por Matissek et al. (1998), por triplicado. Se dispusieron 100 mL de zumo en vasos de precipitación, para el tratamiento térmico se usaron baños termostáticos a 20, 62 y 92 °C ( $\pm 1$  °C) y para la radiación ultravioleta de onda corta se utilizó una cámara provista de dos lámparas de luz ultravioleta de onda corta (entre 200 y 280 nm) de 15 W, y se colocaron los vasos a 30, 40 y 50 cm de la fuente de radiación. Cada 15 minutos durante tres horas, se agitó y se retiró alícuotas que se diluyeron con una solución de ácido oxálico al 0,5% hasta alcanzar una concentración máxima de 0,5 mg de ácido L-ascórbico, la mezcla final fue valorada con una solución de 2,6-diclorofenolindofenol.

Para los análisis microbiológicos, se envasaron 250 mL de zumo en frascos de vidrio estériles y expuestos a temperatura ambiente durante dos semanas para favorecer el desarrollo microbiológico. Para el tratamiento térmico el zumo fue expuesto a 60, 75 y 92 °C, durante 15 minutos. Se extrajeron muestras hasta obtener un número contable de colonias ( $8 \times 10^5$  a  $9 \times 10^5$  UFC·mL<sup>-1</sup>). A partir de ese momento, se extrajeron muestras cada 15 minutos durante dos horas, que fueron inoculadas en placas Petrifilm 3M específicas para mohos y levaduras siguiendo las instrucciones reportadas por la AOAC Official Method 997.02 (2005). Para el tratamiento por radiación se procedió de igual manera, sometiendo al zumo a una fuente de luz UVC situada a 40 centímetros de distancia durante 30 minutos. La constante de inactivación (valor D) se determinó en ambos casos mediante el valor inverso de la pendiente que obtenida graficando el logaritmo de la carga microbiana (UFC·mL<sup>-1</sup>) versus el tiempo. El incremento en la temperatura de la constante de inactivación (valor z) se determinó mediante el inverso de la pendiente de la línea que se obtuvo al graficar el logaritmo decimal del valor D con la temperatura de proceso.

Para el análisis de vida útil, el zumo sometido a tratamiento térmico fue extraído bajo condiciones asépticas y sometido a pasteurización tradicional (62 °C durante 30 minutos). Se almacenaron 250 mL en 6 frascos de vidrio estériles, uno por cada día de muestreo, para evitar que el zumo se contamine. Cada 4 días se tomó 1 mL de zumo de cada frasco y se inoculó en placas Petrifilm 3M para mohos y levaduras siguiendo las instrucciones reportadas por la AOAC Official Method 997.02 (2005). Para el tratamiento por radiación, se colocaron 6 frascos sin tapa a 40 centímetros de la fuente de radiación durante 30 minutos, y se procedió de igual forma que en el tratamiento térmico.

### III. Resultados y discusión

Los valores promedios de °Brix y pH del zumo de naranja obtenidos se reportan en la Tabla 1. Dichos valores no mostraron significativas diferencias entre niveles y tratamientos ( $p > 0,05$ ). Estos datos concuerdan con lo estipulado en la norma INEN 2337 (2008), que señala que los zumos de fruta deben tener un pH inferior a 4,5 y una concentración mínima de sólidos solubles en zumo de naranja de 9° Brix.

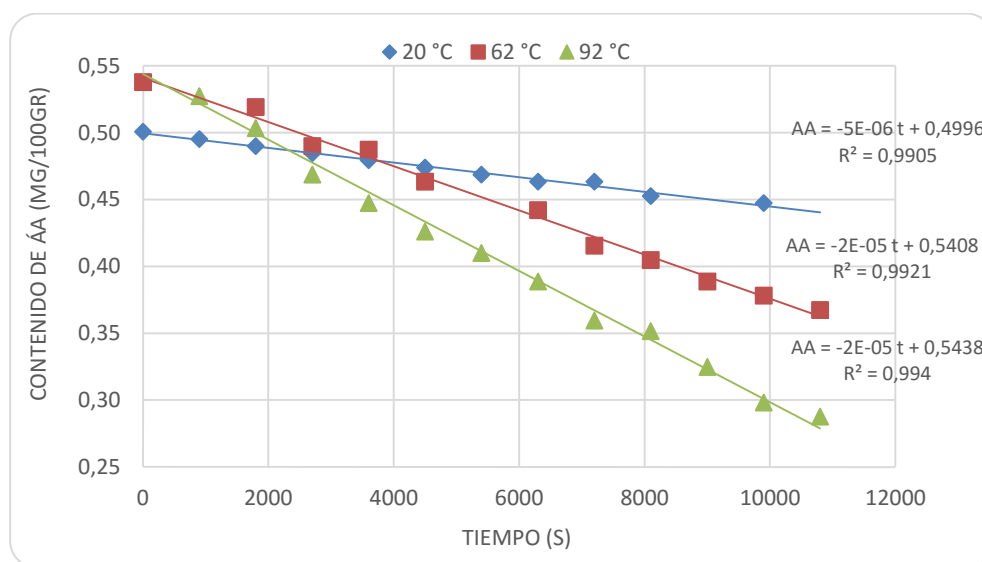
**Tabla 1.** Caracterización del zumo de naranja sometido a tratamiento térmico y radiación UV

		20 °C	62 °C	92 °C
<b>Tratamiento térmico</b>	<b>°Brix</b>	9,87 ± 0,12 <sup>a</sup>	9,97 ± 0,47 <sup>a</sup>	9,47 ± 0,35 <sup>a</sup>
	<b>pH</b>	3,67 ± 0,11 <sup>a</sup>	3,67 ± 0,11 <sup>a</sup>	3,66 ± 0,07 <sup>a</sup>
		<b>30 cm FR</b>	<b>40 cm FR</b>	<b>50 cm FR</b>
<b>Radiación</b>	<b>°Brix</b>	9,73 ± 0,25 <sup>a</sup>	9,83 ± 0,40 <sup>a</sup>	9,44 ± 0,39 <sup>a</sup>
	<b>pH</b>	3,60 ± 0,11 <sup>a</sup>	3,62 ± 0,05 <sup>a</sup>	3,68 ± 0,09 <sup>a</sup>

Valores promedio y desviación estándar de tres repeticiones para cada tratamiento. Promedios con diferentes letras en la misma fila fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )

Dado que el ácido ascórbico es predominante en jugos de frutas, los valores pueden ser considerados como una estimación aceptable del contenido de vitamina C de acuerdo a estudios similares (Acevedo et al., 2004; Gil et al., 2006; Irakiza et al., 2014). En la Figura 1, se representan los valores promedio de la concentración de ácido L-ascórbico frente al tiempo. Como era de esperar, la degradación se incrementó con la temperatura de tratamiento.

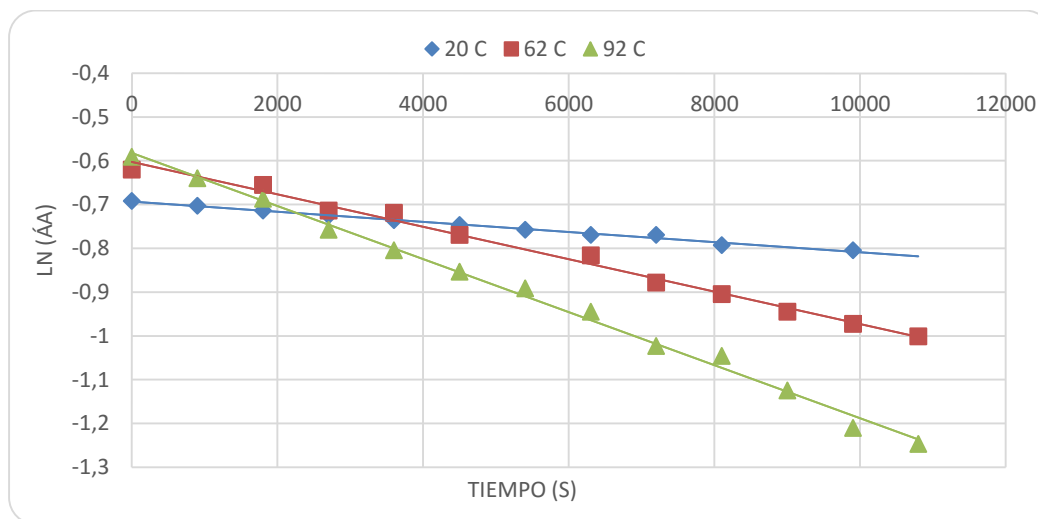
El análisis de varianza realizado indicó que el contenido de ácido ascórbico disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ) durante el tiempo de exposición a las temperaturas de trabajo propuestas. Se demuestra que el tratamiento térmico aumenta la degradación significativamente, comparado con la misma diferencia de concentraciones a temperatura ambiental 20 °C ( $p < 0,0001$ ).



**Figura 1.** Valores promedio del contenido de ácido L-ascórbico en zumo de naranja sometido a diversas temperaturas y tiempos.

Al relacionar el valor de logaritmo natural de ácido ascórbico contra el tiempo de exposición a la temperatura propuesta de trabajo, se cumplió la linealidad prevista por la ecuación cinética de primer orden (Figura 2), presentando coeficientes de correlación elevados (0,99). Lo expuesto ratificó que la

degradación térmica del ácido ascórbico en zumo de naranja presenta una cinética de orden 1, lo que concuerda con lo expuesto por un amplio número de autores (Akbiyik et al., 2012; Bradshaw et al., 2011; da Silva et al., 2005; Kaminski y Tomczak, 2000).



**Figura 2.** Efecto del tratamiento térmico sobre la retención de ácido L-ascórbico en zumo de naranja - cinética de primer orden.

En la Tabla 2 se reportan las ecuaciones cinéticas, con sus respectivos coeficientes de correlación. Dichas ecuaciones tienen por finalidad estimar la cantidad de vitamina C que se degrada durante un proceso de calentamiento al que se esté sometiendo el zumo.

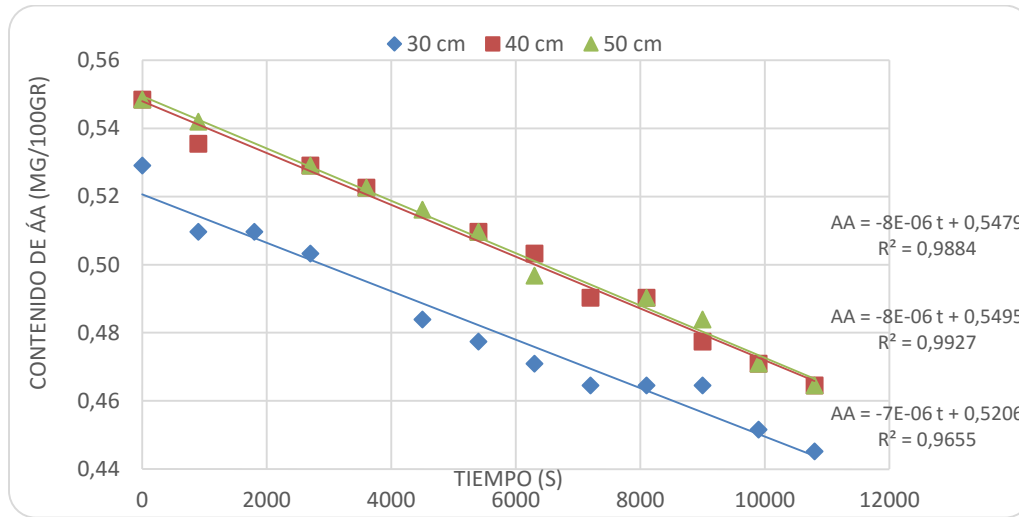
**Tabla 2.** Modelos matemáticos para degradación de ÁA con temperatura

Temperatura	Ecuación	R <sup>2</sup>
20 °C	$\text{Ln} [\text{ÁA}] = -1 \times 10^{-5} \times t - 0,6967$	0,9914
62 °C	$\text{Ln} [\text{ÁA}] = -4 \times 10^{-5} \times t - 0,6129$	0,9814
92 °C	$\text{Ln} [\text{ÁA}] = -6 \times 10^{-5} \times t - 0,5817$	0,9946

Al aplicar la ecuación de Arrhenius se obtuvo que se requieren 23 kJ·mol<sup>-1</sup> para iniciar el proceso de degradación de ácido L-ascórbico en un sistema. El resultado encontrado tiene similitud con el resultado presentado por Rahmawati y Bundjali (2012) de 20,73 kJ·mol<sup>-1</sup>, y Ordóñez-Santos et al. (2013) de 31,67 kJ·mol<sup>-1</sup>.  
 $\frac{\text{Kj}}{(\text{mol})}$

El Figura 3 muestra que no existió una degradación elevada de ácido ascórbico al

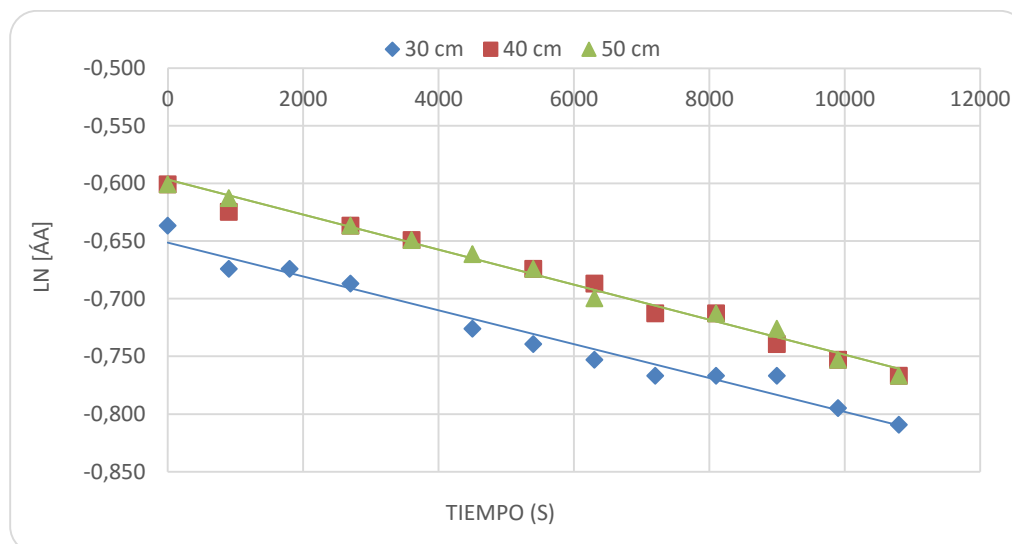
ser expuestas las muestras a radiación ultravioleta de onda corta, en comparación con los datos encontrados durante el proceso de calentamiento. El análisis estadístico de los datos señala que en el caso del tratamiento de radiación ultravioleta, se observó un comportamiento totalmente diferente a los datos arrojados por el tratamiento térmico, pues no existen diferencias significativas en la concentración de ácido L-ascórbico entre el inicio y al final del proceso ( $p > 0,05$ ).



**Figura 3.** Valores promedio del contenido de ácido ascórbico en zumo de naranja sometido a radiación ultravioleta

En el Figura 4 se presentan los valores del logaritmo natural de la concentración de ácido ascórbico medido en los distintos intervalos de tiempo planteados. Los resultados obtenidos al trabajar con radiación concuerdan con lo señalado por Soriano-Melgar et al. (2014), quienes señalan que el uso de radiación ultravioleta artificial no tuvo efecto significativo en el

contenido de vitamina C en el jugo de Damiana (*Turnera diffusa* Willd). Asimismo, Torkamani y Niakousari (2011) determinaron que, bajo condiciones de radiación (254 nm) se pudo llegar a perder hasta un 18 % del contenido original de vitamina C en jugo de naranja. Este resultado es similar al 15 % de reducción obtenido en el presente estudio.



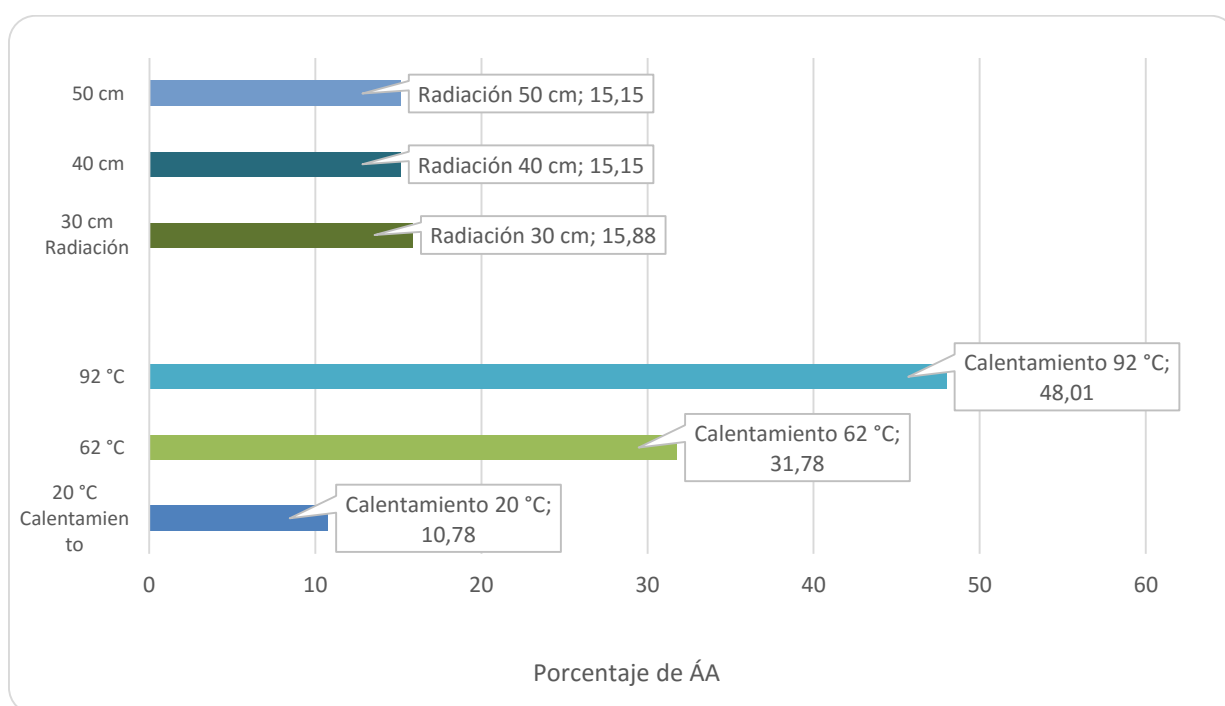
**Figura 4.** Efecto de la radiación ultravioleta sobre la retención de ácido ascórbico en zumo de naranja - cinética de primer orden.

En la Tabla 3 se encuentran las ecuaciones cinéticas para la degradación del ácido ascórbico presente en el zumo de la naranja, con los coeficientes de determinación.

**Tabla 3.** Modelos matemáticos para degradación de ÁA con radiación

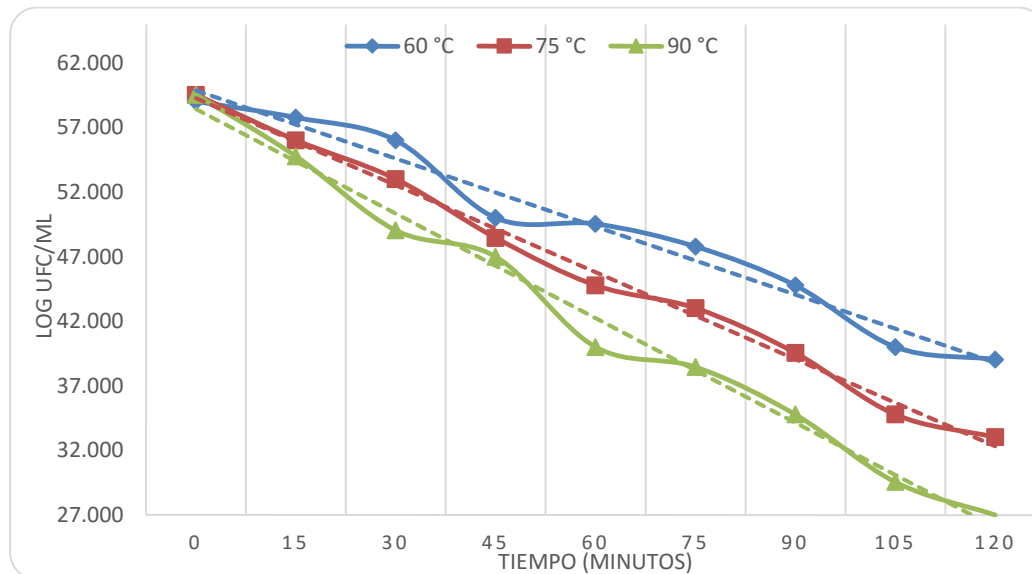
Distancia a la fuente UV	Ecuación	R <sup>2</sup>
30 cm F.R.	$\text{Ln} [\text{ÁA}] = -2 \times 10^{-5} \times t - 0,6442$	0,9842
40 cm F.R.	$\text{Ln} [\text{ÁA}] = -2 \times 10^{-5} \times t - 0,5997$	0,9858
50 cm F.R.	$\text{Ln} [\text{ÁA}] = -2 \times 10^{-5} \times t - 0,598$	0,9906

Como se observa en la Figura 5, a mayor temperatura la disminución porcentual de ácido ascórbico fue mayor; mientras que en el tratamiento por radiación, no se observó un porcentaje elevado de pérdida.



**Figura 5.** Representación gráfica de la disminución porcentual de ácido L-ascórbico

En cuanto al análisis microbiológico, los resultados observados en la reducción en el número de unidades formadoras de colonias (UFC·mL<sup>-1</sup>) se presentan en el Figura 6.



**Figura 6.** Reducción de mohos y levaduras en el tratamiento térmico

Con las ecuaciones lineales obtenidas, se pudo determinar el valor D mediante el inverso de la pendiente, cuyo valor se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Constante de reducción decimal para cada temperatura de trabajo

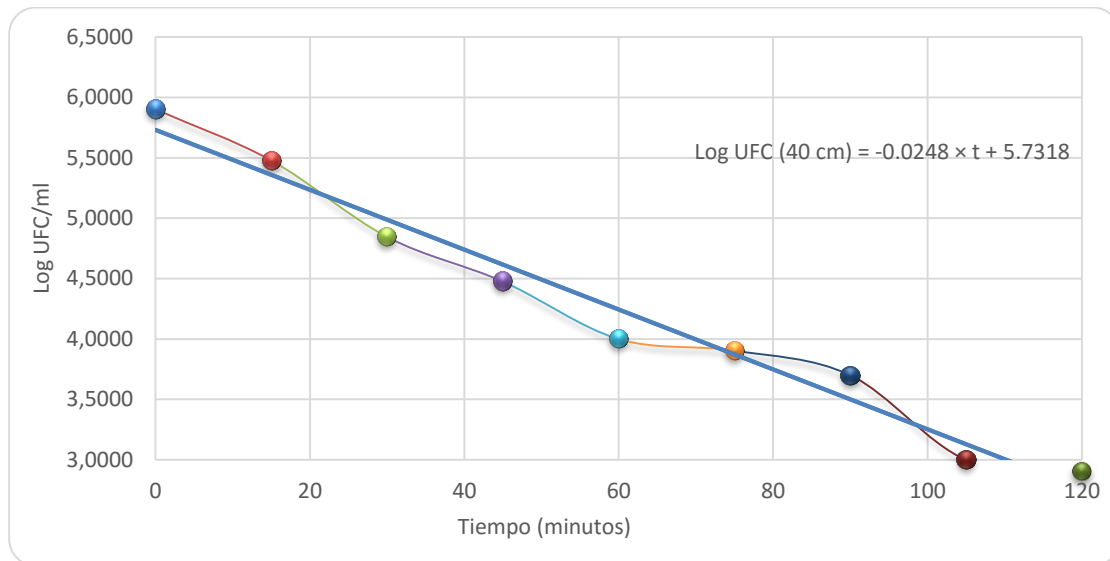
Temperatura (°C)	Ecuación	Constante de Reducción (min)
60	$\text{Log UFC/ml} = -0,0176 \times (t) + 5,9866$	56,8
75	$\text{Log UFC/ml} = -0,0225 \times (t) + 5,9276$	44,4
92	$\text{Log UFC/ml} = -0,0270 \times (t) + 5,8429$	37

A partir de la ecuación de regresión obtenida al relacionar los valores del logaritmo del valor D con la temperatura de trabajo se obtuvo un valor de z igual a 10,8 °C. Silva y Gibbs (2012), aplicaron tratamientos térmicos para eliminar la carga microbiana de ciertos alimentos exponiendo que, en alimentos con alto contenido de humedad, fueron encontrados

valores Z más altos, en el orden de 6 °C, valor similar al encontrado en el presente trabajo de investigación.

En la Figura 7 se presenta la reducción de viables en la muestra sometida a radiación. Como se puede observar, se obtiene un valor de pendiente similar al obtenido cuando se trabajó a 75 °C.





**Figura 7.** Reducción de mohos y levaduras en el tratamiento de radiación

El valor del inverso de la pendiente resultó ser de 40,3 minutos, similar al reportado por Syamaladevi et al. (2015) y Ochoa-Velasco y Guerrero-Beltrán (2012). El valor encontrado en la presente investigación se encontró por encima de los valores reportados en bibliografía. Ante esto, Shamsudin et al. (2014), indican que factores como una exposición ultravioleta insuficiente, así como el bloqueo de radiación ultravioleta por la existencia de partículas y fibras en el jugo podrían ocasionar bajos valores de reducción decimal. De igual manera, Hegazy y Ibrahim (2012), reportaron que la naranja contiene un alto porcentaje de compuestos fenólicos. Por su parte Fredericks et al. (2011), señalaron que una gama de compuestos fenólicos son capaces de absorber radiación en la región ultravioleta del espectro electromagnético. Por lo tanto, podría deducirse que la luz ultravioleta pudo haber sido absorbida por los compuestos fenólicos en lugar de ser transmitida a los microorganismos.

En cuanto al cálculo del tiempo de vida útil, el crecimiento de mohos y levaduras se desarrolló de forma exponencial ( $R^2$ : 0,9739) en el zumo de naranja (Ecuación 1).

$$UFC = 0,9703 e^{0,265 t} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En la INEN 2337 (2008), se expone un límite máximo permisible de 10 UFC·mL<sup>-1</sup>. En base a esto, se obtuvo que el zumo pasteurizado (62 °C durante 30 minutos) resultó tener una vida útil de 9 días. En base a los resultados expuestos (Borozan et al., 2010; Nwachukwu y Ezeigbo, 2013; Rivas et al., 2006), se comprueba que el valor obtenido es coherente tomando en cuenta el proceso y la temperatura de almacenamiento.

Para el tratamiento de radiación se obtuvo la Ecuación 2 ( $R^2$ : 0,9031).

$$UFC = 1,542 e^{0,1671 \times t} \quad (\text{Ecuación 2})$$

A partir de dicha ecuación se obtuvo un tiempo de vida útil de 11 días utilizando la misma norma de referencia.

Dado que existen factores como la turbidez, que pudieran haber evitan que la luz llegara al total de los microorganismos presentes en el zumo, se obtuvo un valor muy por debajo de los reportados en bibliografía (Chia et al., 2012). Sin embargo, y tomando en cuenta el valor obtenido en el tratamiento por pasteurización, se evidencia que la radiación ultravioleta es una alternativa tecnológica a tener en cuenta para prolongar el tiempo de vida útil, mintiendo al mismo tiempo las características naturales del zumo de naranja.

#### IV. Conclusiones

A partir de los valores de concentración de ácido L-ascórbico y mediante la aplicación de técnicas de regresión, se logró obtener ecuaciones de primer orden que permiten predecir la concentración de dicho componente en el zumo de naranja sometido a tratamiento térmico y por radiación ultravioleta de onda corta. El tratamiento mediante radiación ultravioleta (dos lámparas de 15 W aplicada a 40 cm durante 30 minutos) produjo una pérdida del 15 % de ácido L-ascórbico presente inicialmente en jugo de naranja, que presentó un tiempo de vida útil de 11 días a temperatura ambiente. Por el contrario, el tratamiento térmico a 62 °C durante 30 minutos produjo un 48 % de disminución de

ácido ascórbico, asegurando únicamente 9 días de vida útil a temperatura ambiente.

#### V. Bibliografía

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.

Akbıyık, T., Sönmezoğlu, İ., Güçlü, K., Tor, İ., & Apak, R. (2012). Protection of Ascorbic Acid from Copper(II)-Catalyzed Oxidative Degradation in the Presence of Fruit Acids: Citric, Oxalic, Tartaric, Malic, Malonic, and Fumaric Acids. *International Journal of Food Properties*, 15(2), 398-411. doi: 10.1080/10942912.2010.487630

AOAC Official Method 997.02. (2005). Yeast and Mold Counts in Foods - Dry Rehydratable Film Method (Petrifilm TM Method) (18th ed.).

Basaran, N., Quintero-Ramos, A., Moake, M. M., Churey, J. J., & Worobo, R. W. (2004). Influence of Apple Cultivars on Inactivation of Different Strains of *Escherichia coli* O157:H7 in Apple Cider by UV Irradiation. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(10), 6061-6065. doi: 10.1128/aem.70.10.6061-6065.2004

Borozan, A., Bordean, D., Dogaru, D., Mișcă, C., Filimon, N., & Hărmănescu, M. (2010). A comparison between the pasteurization efficiency of pulp juices and not pasteurized juices. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 14(3), 45-47.

Bradshaw, M. P., Barril, C., Clark, A. C., Prenzler, P. D., & Scollary, G. R. (2011). Ascorbic Acid: A Review of its Chemistry and Reactivity in Relation to a Wine

Environment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(6), 479-498. doi: 10.1080/10408391003690559

Chia, S., Rosnah, S., Noranizan, M., & Wan Ramli, W. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurised pineapple juices. *International Food Research Journal*, 19(3), 1001-1010.

da Silva, M. A., Arévalo Pinedo, R., & Kieckbusch, T. G. (2005). Ascorbic Acid Thermal Degradation during Hot Air Drying of Camu-Camu (*Myrciaria dubia* [H.B.K.] McVaugh) Slices at Different Air Temperatures. *Drying Technology*, 23(9-11), 2277-2287. doi: 10.1080/07373930500212784

Fredericks, I. N., du Toit, M., & Krügel, M. (2011). Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines. *Food Microbiology*, 28(3), 510-517. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.018>

Gabriel, A. A., & Nakano, H. (2009). Inactivation of *Salmonella*, *E. coli* and *Listeria monocytogenes* in phosphate-buffered saline and apple juice by ultraviolet and heat treatments. *Food Control*, 20(4), 443-446. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.08.008>

Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296.

Gouma, M., Gayán, E., Raso, J., Condón, S., & Álvarez, I. (2015). Inactivation of spoilage yeasts in apple juice by UV-C light and in combination with mild

heat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.008>

Hegazy, A., & Ibrahim, M. (2012). Antioxidant activities of orange peel extracts. *World Applied Sciences Journal*, 18(5), 684-688.

INEN 2337. (2008). Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales.

Irakiza, G., Dusabumuremyi, J., Mwanamuko, J., Ndayambaje, V., Hategekimana, J., Nyagahungu, I., & Ongol, M. (2014). Retention of  $\beta$ -carotene, vitamin C and sensory characteristics of orange fleshed sweet potato syrup during storage. *International Food Research Journal*, 21(3), 1121-1128.

Kaminski, W., & Tomczak, E. (2000). Degradation of ascorbic acid in drying process-A comparison of description methods. *Drying Technology*, 18(3), 777-790.

Keyser, M., Müller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., & Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 348-354. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2007.09.002>

Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207-220. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)

Lopez-Malo, A., & Palou, E. (2005). Ultraviolet light and food preservation. *Novel food processing technologies*, 405-422.

Matissek, R., Schnepel, F. M., & Steiner, G. (1998). *Análisis de los alimentos: fundamentos, métodos, aplicaciones*: Acribia.

Nwachukwu, E., & Ezeigbo, C. (2013). Changes in the microbial population of pasteurized soursop juice treated with benzoate and lime during storage. *Afr J Microbiol Res*, 7(31), 3992-3995.

Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2012). Ultraviolet-C light effect on pitaya (*Stenocereus griseus*) juice. *Journal of Food Research*, 1(2), p60.

Ordóñez-Santos, L. E., Portilla, M. A. O., & Rodríguez, D. X. R. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, 10(2), 44-51.

Rahmawati, S., & Bundjali, B. (2012). Kinetics of the oxidation of vitamin C. *Indonesian Journal of Chemistry*, 12(3), 291-296.

Rivas, A., Rodrigo, D., Martínez, A., Barbosa-Cánovas, G. V., & Rodrigo, M. (2006). Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. *LWT - Food Science and Technology*, 39(10), 1163-1170. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.002>

Shamsudin, R., Mohd Adzahan, N., Pui Yee, Y., & Mansor, A. (2014). Effect of repetitive ultraviolet irradiation on the physico-chemical properties and microbial

stability of pineapple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, 114-120. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.02.005>

Silva, F. V. M., & Gibbs, P. A. (2012). Thermal pasteurization requirements for the inactivation of Salmonella in foods. *Food Research International*, 45(2), 695-699. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.018>

Soriano-Melgar, L. d. A. A., Alcaraz-Meléndez, L., Méndez-Rodríguez, L. C., Puente, M. E., Rivera-Cabrera, F., & Zenteno-Savín, T. (2014). Antioxidant responses of damiana (*Turnera diffusa* Willd) to exposure to artificial ultraviolet (UV) radiation in an in vitro model; part II; UV-B radiation. *Nutr Hosp*, 29(5), 1116-1122.

Stešková, A., Morochovičová, M., & Lešková, E. (2006). Vitamin C degradation during storage of fortified foods. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45 (2), 55 - 61.

Syamaladevi, R. M., Adhikari, A., Lupien, S. L., Dugan, F., Bhunia, K., Dhingra, A., & Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Penicillium expansum* on fruit surfaces. *Food Control*, 50, 297-303. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.09.006>

Tiwari, B. K., O' Donnell, C. P., Muthukumarappan, K., & Cullen, P. J. (2009). Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice. *LWT - Food Science and Technology*, 42(3), 700-704. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.009>

Torkamani, A., & Niakousari, M. (2011).  
Impact of UV-C light on orange juice quality  
and shelf life. *International Food Research  
Journal*, 18(4).