

CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL ÁCIDO ASCÓRBICO EN EL JUGO DE LULO (*Solanum Quitoense* Lam.)

María Antonieta Riera^{1*} y Yunet Gómez Salcedo²

^{1,2} Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Portoviejo, Ecuador.

Recibido julio 2018 - Aceptado: diciembre 2018

Abstract

In this job the kinetics of thermal degradation of ascorbic acid was study in the lulo juice (*Solanum quitoense* Lam.), in the temperature range of 65 to 95 °C at 0, 5, 10, 15 and 20 minutes. The ascorbic acid was determined with the iodine titration method. A reduction of 66,7 % and 80,0 % ascorbic acid was observed and its degradation follows a kinetic of order one with a speed constant (k) of 0.0511 - 0.0813 min⁻¹, an R²> 0.9715 and an activation energy (Ea) of 16.42 kJ.mol⁻¹ (3.93 kcal.mol⁻¹). The obtained results are for reference purposes for the design, improvement and optimization of processes related to lulo.

Resumen

En este trabajo se estudió la cinética de la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de lulo (*Solanum quitoense* Lam.), en el rango de temperaturas de 65 a 95 °C en tiempos de 0, 5, 10, 15 y 20 minutos. El contenido de ácido ascórbico en las muestras se determinó con el método de yodometría. Se obtuvo una reducción de ácido ascórbico de 66,7 % y 80,0 % y su degradación responde a una cinética de orden uno con una constante de velocidad (k) de 0,0511 – 0,0813 min⁻¹, un R² > 0,9715 y una energía de activación (Ea) de 16,42 kJ.mol⁻¹ (3,93 kcal.mol⁻¹). Los resultados obtenidos son de referencia para el diseño, mejora y optimización de procesos relacionados a productos del lulo.

Key words: Kinetics, thermal degradation, lulo, ascorbic acid.

Palabras clave: Cinética, degradación térmica, lulo, ácido ascórbico.

I. INTRODUCCIÓN

El ácido ascórbico (AA) o vitamina C es un micronutriente hidrosoluble que proviene del metabolismo de la glucosa. Es un agente reductor necesario para las funciones biológicas y enzimáticas del cuerpo humano (Valdés, 2006). Se encuentra naturalmente en frutas frescas y vegetales como el kiwi, naranja, toronja, semeruco, tomate, brócoli, pimientos, soya y col (Serra & Cafaro, 2007). En los últimos años se ha utilizado el compuesto de origen sintético, para fortificar alimentos procesados y así reemplazar las pérdidas ocasionadas en el proceso de fabricación (Bastías & Cepero, 2016).

El AA debido a su estructura química es sensible a degradarse por diversos factores: pH, temperatura, concentración de oxígeno, concentración de sal o azúcar, enzimas, catalizadores

*Autor para correspondencia: mriera@utm.edu.ec

metálicos, concentración inicial de ácido y la relación ácido ascórbico - ácido deshidroascórbico (Pirone et al., 2002). Investigaciones realizadas para estudiar la cinética de la degradación térmica de la vitamina C en el procesamiento de distintas frutas tales como mango (Ordóñez & Yoshioka, 2012), guayaba (Ordóñez-Santos et al., 2013) y maracuyá (Páez et al., 2008) han revelado que responde a una cinética de orden uno. Sin embargo de acuerdo a la bibliografía consultada, no existe información que haga referencia a los datos cinéticos relacionados con el lulo.

El lulo también conocido como naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), es una fruta nativa de los Andes, cultivada y consumida principalmente en Ecuador, Colombia y América Central (Acosta et al., 2009). La planta está compuesta por una raíz principal que se extiende hasta en 50 cm, hojas de forma ovalada de 30 a 40 cm de largo color verde oscuro, flores de color blanco y frutos esféricos o ligeramente achatados, de color amarillo intenso, amarillo rojizo o naranja en la madurez. La pulpa del fruto es verdosa de sabor agridulce, dividida en cuatro secciones casi simétricas y numerosas semillas (Revelo et al., 1998).

Es una fruta climatérica, generalmente se cosecha cuando la fruta ha alcanzado su pleno desarrollo, y el 75 % de la maduración es evidente por su color amarillo característico con algunos pequeños puntos verdes (Mejía et al., 2012). Tiene pH ácido y en su composición cuenta con alto contenido de humedad, bajo de grasa además de proteínas, cenizas y fibras (Torres et al., 2018). Investigaciones realizadas demuestran que a medida que aumenta el grado de madurez de la fruta, también lo hace el contenido de pH, sólidos solubles y concentración de vitamina C (Loaiza et al., 2014).

La naranjilla también se caracteriza por tener propiedades antioxidantes, carotenoides y compuestos fenólicos como: ácido clorogénico y derivados, glicósidos de flavonoles. Por lo anterior, razón se considera un fruto con un buen potencial nutricional e industrial (Andrade et al., 2015).

En la Amazonía ecuatoriana, el cultivo de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) constituye un rubro económico de gran importancia debido a los múltiples beneficios que brinda (Torres-Navarrete et al., 2018). Este cultivo tiene un alto potencial para generar mayores ingresos económicos tanto en los mercados locales como de exportación debido a la aceptación que tiene, sin embargo es necesario que el cultivo tenga un manejo adecuado y tecnificado (Viera et al., 2015).

Una de las variables que se miden en la tecnificación de un proceso, es la incidencia de la temperatura en las características nutricionales del producto. Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue determinar la cinética de la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de lulo. Cómo influye la temperatura en la reducción de AA genera información de utilidad para el diseño de procesos, específicamente aquellos como la pasteurización, donde se busca la conservación del alimento manteniendo al máximo sus características nutricionales.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el último estadio de maduración identificado por su color anaranjado intenso en la corteza sin matices verdes (estadio 5, Figura 1) (Mejía et al., 2012). El fruto fue adquirido en un mercado de la localidad de Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador.

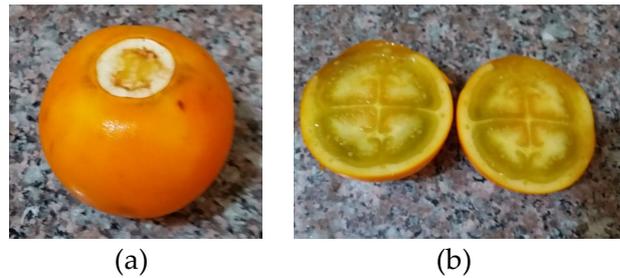


FIGURA 1. Madurez del fruto usado en la experimentación. Vista: (a) Externa, (b) Interna

Para la elaboración del jugo se lavó la fruta, se picó en dos mitades, se extrajo manualmente la pulpa, se trituró para obtener el líquido e inmediatamente fue filtrado para eliminar cualquier grumo o semilla. El jugo se preparó con un 6 % sólidos solubles, de acuerdo a las especificaciones mínimas requeridas para jugos o pulpas de esta fruta (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2008).

El jugo preparado se sometió a tratamiento térmico usando una placa calefactora digital Thermo Scientific™ Cimarec, para las relaciones temperatura-tiempo 65, 75, y 85 °C a los 5, 10, 15 y 20 min (Ordóñez-Santos et al., 2013). Al alcanzar la temperatura de trabajo, las muestras se enfriaron rápidamente en un baño con hielo y se procedió a su respectiva valoración por triplicado (Ordóñez & Yoshioka, 2012).

Al inicio de cada experiencia y para cada tiempo de trabajo, se determinó el contenido de ácido ascórbico a las muestras, así como los parámetros fisicoquímicos: pH y sólidos solubles (en °Brix a 20°C). Para la determinación de ácido ascórbico, se utilizó una titulación redox con yodo 0.11 N como reactivo valorante, previo al cual se tituló el yodo con ácido ascórbico patrón Fisher Chemical (Alvarez et al., 2005). El pH se midió con un potenciómetro Oakton y para los sólidos solubles se utilizó un refractómetro Thomas Scientific (FAO, 2005).

Las ecuaciones empleadas para determinar la cinética de la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de lulo, corresponden a las expresiones de la ley de velocidad integrada (1), tiempo de vida media (2) y ecuación de Arrhenius (3, 4) (Engel & Reid, 2006).

$$C = C_o e^{-kt} \quad (1)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} \quad (2)$$

$$k = A e^{-Ea/RT} \quad (3)$$

$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (4)$$

Donde C es la concentración del ácido ascórbico (mg.mL⁻¹) a un tiempo t (min), Co es la concentración inicial del ácido ascórbico, k es la constante de la velocidad de la reacción (min⁻¹), t es tiempo (min), t_{1/2} es el tiempo necesario para consumirse la mitad de la concentración inicial de ácido ascórbico (min), A es el factor pre-exponencial, Ea es la energía de activación (kJ.mol⁻¹), R es la constante universal de los gases ideales (8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹), T es la temperatura absoluta (K). Tanto los gráficos como el análisis estadístico, se realizaron con el software Microsoft Excel 2010.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra la caracterización del jugo fresco y el sometido a tratamiento térmico. A medida que se incrementa la temperatura se evidenció un ascenso en el pH en función del tiempo, dado que al degradarse el ácido ascórbico, aumenta la concentración de ácido deshidroascórbico y con ello el pH (Avalo et al., 2009). Los sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$) permanecen prácticamente constantes, tal como sucede en el caso del jugo fresco de maracuyá en relación al pasteurizado (Páez et al., 2008).

TABLA 1. Caracterización del jugo fresco y el sometido a tratamiento térmico

	pH	$^{\circ}\text{Bx}$ (%)
Jugo fresco	3,07 \pm 0,00	4 \pm 0
T 65°C	3,13 \pm 0,06	3,6 \pm 0,6
T 85°C	3,7 \pm 0,2	3 \pm 1
T 95°C	N.D.	N.D.

N.D: No determinado

En la Tabla 2 se muestran los parámetros cinéticos para la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de lulo. El valor de k aumentó a medida que se incrementó la temperatura, lo que demuestra la incidencia de la temperatura en la degradación del ácido ascórbico (Villareal et al., 2013). El tiempo de vida media disminuyó en función del tiempo, demostrando un comportamiento decreciente durante los tratamientos térmicos (Ordóñez-Santos et al., 2013).

TABLA 2. Parámetros cinéticos de la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de lulo

T (°C)	Co (mg.100mL ⁻¹)	C (mg.100mL ⁻¹)	k (min ⁻¹)	t _{1/2} (min)
65	29,0612	9,69	0,0511	0,0107
85	19,37	4,84	0,0738	0,0082
95	19,37	3,87	0,0813	0,0073

Posterior al tratamiento térmico se evidenció una reducción del 66,7 % al 80,0 % en el contenido de ácido ascórbico, similar a lo obtenido al evaluar el efecto que tiene la pasteurización en la pérdida de vitamina C en jugos de las frutas cítricas: tomate de árbol, mango costeño, naranja valencia y mora castilla (Villareal et al., 2013). El ácido ascórbico es un compuesto muy inestable que se oxida fácilmente a ácido deshidroascórbico (Rosales & Arroyo, 2015) ante la presencia de agentes como la temperatura.

La degradación térmica del ácido ascórbico obedece a una cinética de primer orden (Figura 2), con un coeficiente de correlación R² mayor a 0,9715 para todos los casos, con una desviación estándar de 0,08; 0,09 y 0,06 para 65°C, 85°C y 95°C, respectivamente. Resultados similares los reportan estudios para la pulpa de mango de hilacha (Mendoza-Corvis et al., 2015), el jugo de parchita (Carranza-Saavedra et al., 2014), zumo de naranja (Acurio et al., 2015), y jugo de remolacha (Sánchez et al., 2015).

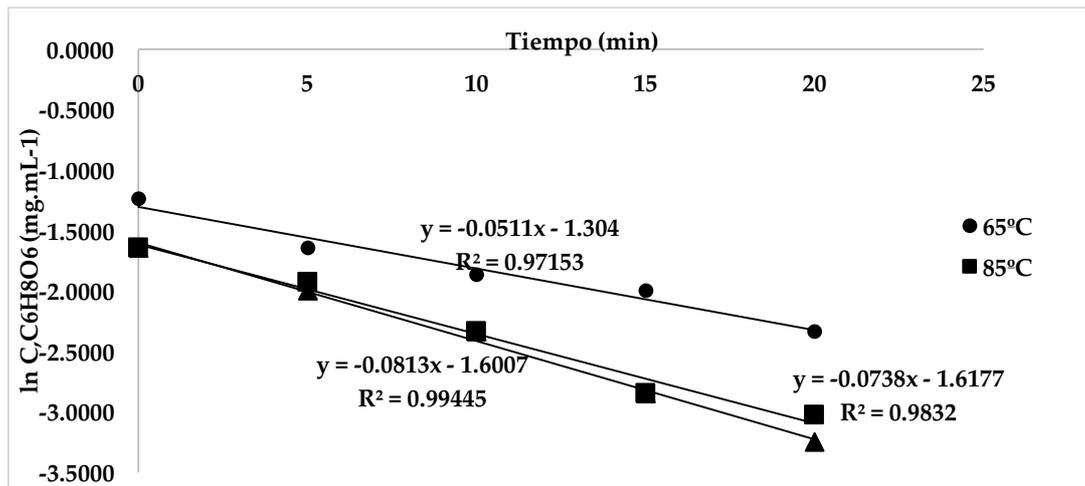


FIGURA 2. Cinética de la degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de lulo

Con la ecuación de Arrhenius (Figura 3) se determinó el efecto de la temperatura sobre la variable estudiada y se expresó en la E_a cuyo valor fue $16,42 \text{ kJ.mol}^{-1}$ ($3,93 \text{ kcal.mol}^{-1}$). La E_a calculada es más baja que la obtenida para la pulpa de mango (Ordóñez & Yoshioka, 2012), frutos de guayaba (Ordóñez-Santos et al., 2013) y jugo de curuba (Carranza-Saavedra et al., 2014), pero superior a lo reportado por el jugo fresco de fresa (Sapei & Hwa, 2014). Mientras menor sea la E_a , menor es la sensibilidad a la degradación (Sánchez et al., 2015), por lo que a partir del resultado obtenido se infiere que el ácido ascórbico en el jugo de lulo es más estable ante la degradación con respecto a aquellos cuya energía de activación es mayor a la calculada.

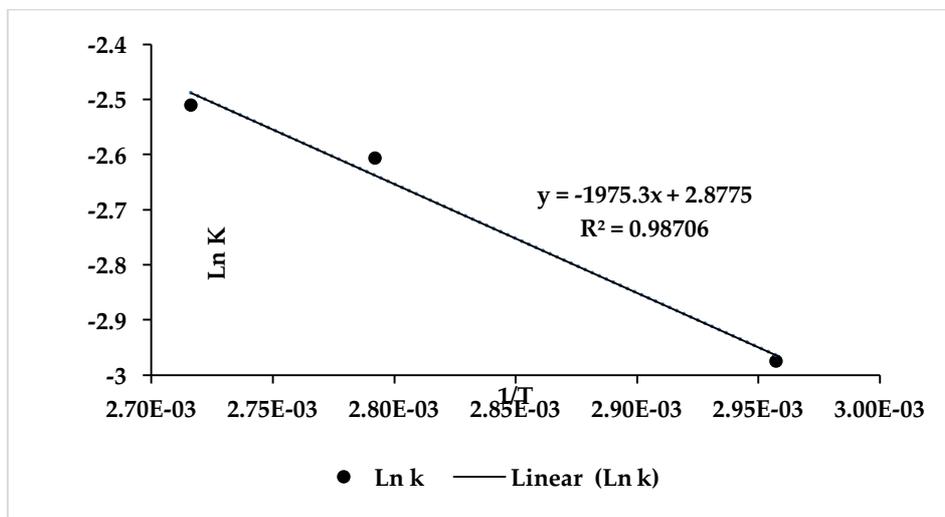


FIGURA 2. Ecuación de Arrhenius para la degradación del ácido ascórbico en el jugo de lulo

IV. CONCLUSIONES

El contenido de ácido ascórbico disminuyó con la temperatura bajo las condiciones estudiadas entre un 20 % y 33,3 %. La degradación térmica del ácido ascórbico en el jugo de lulo para las temperaturas 65 a 95 °C sigue una cinética de primer orden. La medida de sensibilidad para la degradación de AA se obtuvo con la E_a , evidenciando que el jugo de lulo es más estable a degradarse con respecto a aquellos cuya energía de activación es mayor. La información obtenida sirve de referencia para el diseño y mejora de procesos de pasteurización, escaldado u otro que

involucre el tratamiento térmico de productos derivados del lulo, siendo de utilidad para la optimización de procesos y de productos orientados a conservar las propiedades nutricionales.

V. REFERENCIAS

- Acosta, Ó., Pérez, A. M., & Vaillant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002895>
- Acurio, L., Villacís, J., Salazar, D., Pérez, L., & Valencia, A. (2015). Efecto de la temperatura y radiación ultravioleta de onda corta en el contenido de ácido L-ascórbico en zumo de naranja (*Citrus sinensis*). *Alimentos Hoy*, 23(36), 75-87. Recuperado a partir de <http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/346>
- Alvarez, A.; Jorrat, S. & Genta, M. (2005). Caracterización físico-química de jugo de limón de Tucumán. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 34(2), 49-56. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86434204>
- Andrade, M. J., Moreno, C., Guijarro, M., & Concellón, A. (2015). Caracterización de la naranjilla (*Solanum quitoense*) común en tres estados de madurez. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. <https://doi.org/10.1002/hep.23201>
- Avalo, B., Pérez, S., & Tovar, M. (2009). Caracterización preliminar del proceso de concentración del jugo natural de naranja en un evaporador de tres efectos. *Interciencia*, 34(11), 784-790. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001100007
- Bastías M, J. M., & Cepero B, Y. (2016). La vitamina C como un eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(1), 81-86. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100012>
- 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). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(2), 165-167. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2372.5846>
- Engel, T., & Reid, P. (2006). *Química Física*. (S. A. Pearson Education, Ed.). Madrid.
- FAO. (2005). Norma general del codex para zumos (jugos) y néctares de frutas. Recuperado a partir de http://www.fao.org/input/download/standards/10154/CXS_247s.pdf
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. NTE INEN 2337:2008 JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NÉCTARES, BEBIDAS DE FRUTAS Y VEGETALES. REQUISITOS., NTE INEN 2337 § (2008). Recuperado a partir de <http://archive.org/stream/ec.nte.2337.2008#page/n0/mode/2up>
- Loaiza, D. I. G., Santos, L. E. O., Mahecha, P. V., & Amariles, H. D. V. (2014). Cambios en las propiedades físico-químicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agronomica*. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n1.31717>
- Mejía, C., Gaviria, D., Duque, A., Rengifo, L., Aguilar, E., & Alegría, A. (2012). Physicochemical characterization of the lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Castilla variety in six ripening stages. *Vitae*, 19(2), 157-165. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042012000200002&script=sci_abstract&tlng=es
- Mendoza-Corvis, F. A., Hernández, E. J., & 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 (*Mangifera indica* var magdalena river). *Información Tecnológica*, 26(3), 9-16. Recuperado a partir de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000300003
- 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. Recuperado a partir de

- http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492013000200006&script=sci_abstract&tlng=es
- Ordóñez, L. E., & Yoshioka, L. S. (2012). Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Manguifera indica* L). *Vitae*, 19(1), S81-S83. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914019>
- Páez, G., Freay, J., Moreno, M., Zulay, M., Araujo, K., & Rinc, M. (2008). Cinética de la degradación del ácido ascórbico en jugo de parchita. *Afinidad LXV*, 65(533), 51-55. Recuperado a partir de <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/281445/369258>
- Pirone, B. N., Ochoa, M. R., Kessler, A. G., & Michelis, A. (2002). Evolución de la concentración de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación de frutos de la rosa mosqueta (*rosa eglanteria* L.). *Asentamiento Universitario Villa Regina*, 31(1), 85-98. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3996886>
- Revelo, J., Viteri, P., Wilson, V., Valverde, F., León, J., & Gallegos, P. (1998). *Manual del cultivo ecológico de la naranjilla. Manual Técnico N° 77*. Quito, Ecuador. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2004.06.034>
- Rosales Laguna, D. D., & Arroyo, G. A. (2015). Vitamina C y parámetros fisicoquímicos durante la maduración de *Berberis lobbiana* "UNTUSHA". *Revista de la Sociedad Química de Perú*, 81(1), 63-75. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000100008
- Sánchez, W., Cortez, J., Solano, M., & Vidaurre, J. (2015). Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 111-118. Recuperado a partir de <http://www.revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/866>
- Sapei, L., & Hwa, L. (2014). Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry*, 9, 62-68. Recuperado a partir de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876619614000096?via%3Dihub>
- Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ácido ascórbico : desde la química hasta su crucial función protectora en ojo Ascorbic acid : from chemistry to its crucial R esumen. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(4), 525-532. Recuperado a partir de <http://www.scielo.org.ar/pdf/abcl/v41n4/v41n4a10.pdf>
- Torres-Navarrete, R. A., Vargas-Burgos, J. C., García-Quintana, Y., Torres-Navarrete, E. D., & Arteaga-Crespo, Y. (2018). Influence of socioeconomic variables in the naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) production in the rural community of Wamani in the Ecuadorian Amazon. *Acta Agronomica*. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.62864>
- Torres Navarrete, A., Vargas Burgos, J. C., García Quintana, Y., & Arteaga Crespo, Y. (2018). Composición química y características sensoriales y morfométricas de frutos de naranjilla (*Solanum quitoense* var. palora) limpia y convencional en la Amazonía Ecuatoriana. *Interciencia*, 43(February), 115-119. Recuperado a partir de https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/03/115-ARTEAGA-43_02.pdf
- Valdés, F. (2006). Vitamina C. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 97(9), 557-568. [https://doi.org/10.1016/S0001-7310\(06\)73466-4](https://doi.org/10.1016/S0001-7310(06)73466-4)
- Viera, W., Mejía, P., Noboa, M., Obando, J., Sotomayor, A., Vásquez, W., & Viteri, P. (2015). Arvenses asociadas a los cultivos de naranjilla y tomate de árbol. *Revista Científica Ecuatoriana*, 2(1), 41-47.
- Villareal, Y., Mejía, F., Osorio, O., & Cerón, F. A. (2013). Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina C en jugos de frutas. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 66-75. Recuperado a partir de <http://revistabioteologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/bioteologia/article/view/302/25>