

Cinética de Inactivación Térmica de la Enzima Pectinmetilesterasa en Zumo de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

Andrés F. Cerón, Diego F. Mejía y Oswaldo Osorio

Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Apoyo a la investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA), Ciudad Universitaria Torobajo, Calle 18 Cr 50, San Juan de Pasto – Colombia.
(e-mail: andre5505@hotmail.com; diegomejiaes@udenar.edu.co; osorio_oswaldo@hotmail.com)

Recibido Ago. 25, 2015; Aceptado Nov. 2, 2015; Versión final Nov. 7, 2015, Publicado Abr. 2016

Resumen

Se determinó la cinética de inactivación térmica de pectinmetilesterasa (PME; EC3.1.1.11) en zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Se evaluó el comportamiento de la enzima a temperaturas entre 50 y 80 °C y tiempos entre 5 y 60 s. La actividad enzimática residual (AR) se midió por espectrofotometría. Se determinó el contenido de carotenoides totales a temperaturas-tiempos con AR ≤ 10%. La cinética se estudió bajo modelo de primer orden bifásico. Las constantes K_R calculadas fueron: 0.077 min⁻¹ a 50 °C, 0.623 min⁻¹ a 60 °C, 15.34 min⁻¹ a 70 °C, y 19.88 min⁻¹ a 80 °C. Las constantes K_L fueron 0.778 min⁻¹ a 50°C y 2.783 min⁻¹ a 60 °C La representación de Arrhenius dio para E_{aR} un valor de 189.6 kJ/mol. No se encontró diferencia significativa para contenido de carotenoides totales a 70 y 80 °C x 10 y 7 s. Se concluye que a temperaturas ≥ 70 °C x 10 s se obtiene AR ≤ 10%, evidenciando pérdidas de carotenoides del orden del 11.2%.

Palabras clave: inactivación térmica; cinética pectinmetilesterasa; tomate de árbol; Solanum betaceum Cav.

Kinetics of Thermal Inactivation of the Enzyme Pectinmethylesterase in Tamarillo Juice (*Solanum betaceum* Cav.)

Abstract

The kinetics of thermal inactivation of pectinmethylesterase (PME; EC3.1.1.11) was performed on tree tomato juice (*Solanum betaceum* Cav.). The behavior of the enzyme at temperatures between 50 and 80 °C and times between 5 and 60 s was evaluated. The residual enzyme activity (AR) was measured by spectrophotometry. The content of total carotenoids (CT) at temperatures-time AR ≤ 10% was determined. The kinetics was studied under a two-phase model of first order. The calculated constants K_R were 0.077 min⁻¹ at 50 °C, 0.623 min⁻¹ at 60 °C, 15.34 min⁻¹ at 70 °C, y 19.88 min⁻¹ at 80 °C. The constants K_L were 0.778 min⁻¹ at 50°C y 2.783 min⁻¹ at 60 °C. Arrhenius representation yielded a value of 189.6 kJ/mol for E_{aR} . No significant difference in total carotenoids was found at 70 and 80 °C x 10 and 7 s. It is conclude that AR ≤ 10% are obtained at temperatures ≥ 70 °C x 10 s, showing losses of carotenoids of the order of 11.2%.

Keywords: thermal inactivation; kinetics; pectinmethylesterase; tamarillo; Solanum betaceum Cav.

INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav Syn *Cyphomandra betacea* sendt) conocido también como “Tamarillo” es un pequeño árbol, perteneciente a la familia de las solanáceas (Do Nascimento et al., 2013), nativo de los Andes Peruanos y probablemente también de Chile, Ecuador y Bolivia (Alvarado et al., 2011); el fruto presenta gran potencial para el mercado debido a sus características nutricionales y organolépticas (Márquez, et al., 2007; Lagos et al., 2013; Andrade et al., 2013), siendo muy atractivo para la industria de bebidas y alimentos (Rodríguez et al., 2011). Villarreal et al., (2013) exponen que la transformación agroindustrial, se ha enfocado en la obtención de pulpas y jugos naturales (zumos); estos últimos se definen como líquidos sin fermentar pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de las frutas en buen estado (NTC 5468, 2007); los nuevos consumidores los prefieren debido a que mantienen las características físicas, químicas, sensoriales y nutricionales de la fruta.

Sin embargo, Maca et al., (2013) mencionan que el zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), está expuesto a la acción de la enzima pectinmetilesterasa, PME (EC 3.1.1.11), la cual ocasiona una pérdida de estabilidad en los jugos turbios, desencadenando en una clarificación (Wilinska et al., 2008; Pinchao et al., 2014) y pérdida de consistencia. Por lo tanto, conocer y estudiar la actividad enzimática de las frutas es importante para encontrar las condiciones más adecuadas en el momento de su industrialización (Villarreal et al., 2013). Cruz, Vieira & Silva (2008), afirman que los tratamientos térmicos son los métodos más utilizados para estabilizar bebidas, debido a que tienen la capacidad de destruir microorganismos e inactivar enzimas. Entre estos tratamientos la pasteurización se destaca en la inactivación de la enzima PME, como lo reporta Maca et al., (2013), por ser un método general para líquidos (Garnacho et al., 2012). Ahora bien, Agüero et al., (2008) señalan que los estudios sobre cinética enzimática son únicos para cada especie y variedad, tanto de frutas como vegetales. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue realizar la cinética de inactivación térmica de la enzima PME, en zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) a presión atmosférica, determinando algunos parámetros cinéticos (K, D, Z y Ea) y evaluando el efecto de los tratamientos con actividad enzimática residual \leq a 10% sobre el contenido de carotenoides totales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización materia prima

Se utilizaron tomates de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) comunes, cultivados en el municipio de Buesaco, Nariño, ubicado a 2000 msnm, con una temperatura promedio de 18 °C. Los tomates fueron recolectados según la Norma Técnica Colombiana, NTC 4105, se optó por la categoría extra, calibre B y color número 6 solo frutos totalmente anaranjados. Posteriormente se realizó la caracterización del material mediante análisis químico proximal determinando: humedad, sólidos totales, ceniza, proteína, carbohidratos totales, fibra cruda, acidez, según el método de análisis de alimentos propuesto por Bernal (1998).

Extracción del zumo

Se realizó de acuerdo a la metodología reportada por Maca et al., (2013); mediante la cual se llevó a cabo un lavado y desinfección, posterior pelado y triturado en una licuadora industrial JAVAR LCT-15. El zumo obtenido se filtró, homogenizó y empacó en bolsas de polietileno calibre 2 con capacidad de 50 mL, las cuales se almacenaron a -23 °C, con el fin de evitar variabilidad en los resultados.

Tratamiento térmico

Se realizó a presión atmosférica a diferente temperatura 50, 60, 70 y 80 °C con exposición de entre 5 y 60 s, en el centro térmico; se utilizó la metodología descrita por Soysa & Soylemez (2005), mediante la cual se tomó 5 mL de extractos crudos en tubos de ensayos de longitud 80 x 10 mm, grosor de pared 0.6 mm y capacidad volumétrica 5 mL; los tubos se calentaron en un baño de agua termostataado marca Eyela OSB 2000 con capacidad de 10 litros y precisión de 0.1°C; culminado cada tratamiento las muestras se enfriaron rápidamente en un baño agua-hielo a temperatura de 2°C. La temperatura se midió con un lector de temperatura portátil (OAKTON TEMP-300), al cual se acopló un termopar tipo K.

Obtención del extracto enzimático

Se realizó de acuerdo al método reportado por Maca et al., (2013), se tomó 5 g de zumo tratado con 15 mL de cloruro de sodio (NaCl) 1 M y 0.04 g de polivinilpirrolidona (PVPP). La suspensión obtenida se agitó por 1 h a 200 rpm a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 10000 rpm por 1 hora a 4 °C, se utilizó tubos

Falcon de 15 mL. Se recogió el sobrenadante el cual es el extracto enzimático esta muestra se mantuvo en refrigeración. Se obtiene un extracto enzimático a pH 3 y antes de ser utilizado se ajustó el pH a 7.5.

Medición actividad enzimática

Se utilizó un espectrofotómetro Genesys 10 (Thermo Scientific) UV-VIS con escaneo de 6 celdas, aplicando la metodología de algunos autores citados por Maca et al., (2013) mediante la cual se mezcló 95 μL de agua destilada, 1765 μL de pectina cítrica al 0.5% (w/v) (>85% esterificación, Sigma®), 445 μL de azul de bromotimol al 0.01% en buffer fosfato de sodio al 0.006M y 495 μL de extracto enzimático. Todos los reactivos se ajustaron a pH 7.5 con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N y 1N. El cambio de color se midió a una longitud de onda de 620 nm. La pendiente de la parte lineal de la curva (velocidad inicial de la reacción) se tomó como actividad enzimática. Los resultados se expresaron como el cambio en la densidad óptica por minuto ($\Delta\text{Abs}/\text{min}$). La actividad residual enzimática (AR), se define como la relación entre la actividad de la enzima después del tratamiento, a la actividad que tenía antes del mismo. Su cálculo se realiza utilizando la ecuación 1 (Tiwari et al., 2009).

$$\%AR = \left(\frac{A_t}{A_0} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde: %AR: actividad enzimática residual en porcentaje; A_t : Actividad de PME después del tratamiento térmico; A_0 : Actividad de PME antes tratamiento térmico.

Determinación parámetros cinéticos

Se determinaron a partir de las metodologías descritas por Balogh et al., (2004), Espachs et al., (2006) y Ordóñez & Yoshioka, (2012); las constantes cinéticas de velocidad de inactivación térmica, se calcularon de acuerdo a los resultados de la actividad enzimática residual como un modelo de primer orden bifásico (ecuación 2), con el método de mínimos cuadrados.

$$\frac{A}{A_0} = A_R e^{(-K_R * t)} + A_L e^{(-K_L * t)} \quad (2)$$

La energía de activación se estimó por análisis de regresión lineal del logaritmo natural de la constante de velocidad frente a la inversa de la temperatura absoluta (ecuación 3 Arrhenius).

$$K = A_0 e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \quad (3)$$

El tiempo de reducción decimal (valor D) se calculó mediante la relación entre el valor D y la constante de inactivación (k) ecuación 4.

$$D = \frac{\text{Ln}(10)}{K} \quad (4)$$

La constante de resistencia térmica (Z) se determinó a partir de una gráfica del $\log_{10}(D)$ en función de la temperatura (ecuación 5).

$$ZT = \frac{T_2 - T_1}{\text{Log } D_1 - \text{Log } D_2} \quad (5)$$

Donde: A: $\Delta\text{Abs}/\text{min}$ después del tratamiento térmico; A_0 : Abs/min sin tratamiento térmico; t: tiempo (min); A_R : fracción de la enzima resistente al calor; A_L : fracción de la enzima lábil al calor; K_R y K_L : constantes de inactivación para la fracción de la enzima resistente y lábil al calor, E_a : energía de activación en KJ/mol; R: constante universal de los gases (8.314 J/mol °K); T: temperatura absoluta en grados kelvin (K); D: reducción decimal; Z: constante de resistencia térmica.

Determinación de carotenoides totales

Se realizó de acuerdo a la metodología de Belén et al., (2004) con algunas utilizando un espectrofotometría utilizando Genesys 10 (Thermo Scientific) UV-VIS con escaneo de 6 celdas a una longitud de onda de 450 nm, mediante el cual se realizó una curva de calibración de B-caroteno Sigma®, en un rango de 0.5 a 4.0 μg BC /mL. Se tomaron 0.1 g de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), de las condiciones temperatura-tiempo con actividad enzimática residual \leq a 10% previamente secos a $40 \pm 1^\circ\text{C}$ (Durán y Moreno, 2000), la cantidad se depositó en un tubo Eppendorf, posteriormente se adicionó 1.5 mL de una solución

diclorometano: hexano en relación 1:1, se agitó y sonificó por 10 minutos a temperatura de 25 °C, frecuencia de 25 KHz y potencia del 99%; una vez culminada la operación se realizó una centrifugación a 14000 rpm por 15 minutos a temperatura ambiente. Se extrajo el sobrenadante y se almacenó en frasco vidrio ámbar de capacidad 2 mL hasta el momento de la medición.

Análisis de datos

Todos los resultados se expresaron como media más o menos la desviación estándar. Los análisis de regresión fueron realizados con ayuda del programa Sigma Plot 10 (SPSS, USA); mientras que el análisis de resultados se realizó con el programa InfoStat versión 2014, mediante el cual se hizo el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la LSD de Fisher a un 5% de nivel de significancia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización materia prima

En la tabla 1 se muestran los resultados del análisis químico proximal realizado al zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), valores similares reporta Santander et al., (2013) en tomate de árbol cultivado en el departamento de Nariño- Colombia, Torres (2012) en tomate de árbol procedente de Jarillo, Estado Aragua- Venezuela y Ramírez (2008) en tomate de árbol cultivado en Loja-Ecuador; sin embargo, difieren de los presentados por Repo y Encina (2008) en tomate de árbol procedente de Junin- Perú, reportando un menor contenido en humedad 82.9% y contenidos superior en: carbohidratos 14.1% y fibra 4.5%. Estas variaciones se atribuyen a modificaciones en el cultivo, clima, suelo, variedad del fruto, entre otras (Santander et al., 2013).

Tabla 1: Composición proximal zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

Característica	Contenido (g/100g porción comestible)
Humedad	88.603 ± 0.263
Sólidos totales	11.402 ± 0.264
Ceniza	0.521 ± 0.022
Proteína	1.534 ± 0.010
Carbohidratos totales	5.893 ± 0.481
Fibra cruda	1.391 ± 0.242
Acidez	1.442 ± 0.072

Actividad residual enzima PME

En la figura 1 se presenta la actividad residual de la enzima PME en porcentaje como una función del tiempo a 4 temperaturas diferentes, conforme aumentó la temperatura la desnaturalización de la enzima se incrementó. Los resultados evidenciaron que temperaturas superiores o iguales a 70 °C con tiempos de exposición de 10 s, logran una reducción de la actividad enzimática igual o inferior a 10%, pasado este tiempo la velocidad de inactivación se torna lenta, en promedio $0.00101 \pm 0.000073 \Delta\text{Abs}/\text{min}$. Temperaturas de 60°C x 60 s, conllevan a que la enzima mantenga una actividad residual igual al $24.463 \pm 2.681\%$.

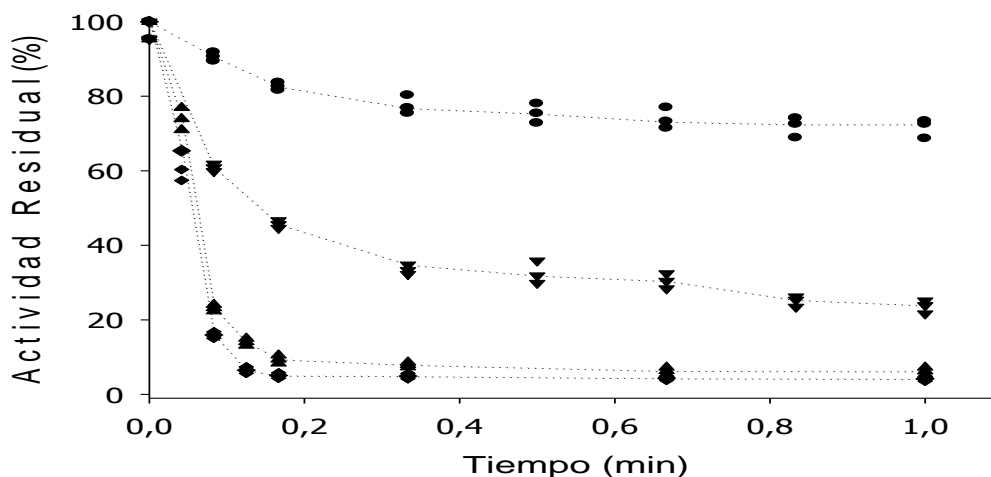


Fig. 1: Actividad enzimática residual PME: ● 50 °C; ▼ 60 °C; ▲ 70 °C; ◆ 80 °C.

Estos resultados difieren de los valores obtenidos para PME purificada, reportados por Maca et al., (2013) quien afirma que bajo condiciones de 60 °C x 5, 12 y 20 s, se logra reducir la actividad de la enzima por debajo de 10%, explicación de lo anterior es el uso de los extractos crudos de zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en esta investigación. Balogh et al., (2004) reportaron conclusiones similares, afirmando que la PME purificada de zanahoria es más sensible a la temperatura en comparación con la PME del jugo y la PME de piezas de zanahoria, siendo esta última más termoestable. Agcam et al., (2014) reportaron para jugo de naranja valores de actividad residual de PME de 6.8% y 4.2%, obtenidos a temperaturas de pasteurización de 90°C por 10 y 20 s, respectivamente; al analizar el tiempo del tratamiento con los valores de tiempo expuestos en esta investigación, se afirma una baja termo-estabilidad de la enzima, siendo el aumento de la temperatura quien influye en mayor medida en la actividad de PME (Vivar et al., 2007). Sin embargo, Espachs et al., (2006) mencionan que la resistencia térmica de PME dependerá en gran medida de su origen; en su investigación concluyen que la PME del extracto de naranja es más termo resistente que el obtenido de zanahoria, pese a ello temperaturas iguales o superiores a 72 °C logran la inactivación, similar a lo expuesto en este trabajo.

Parámetros cinéticos

Durante los primeros 20 s para temperaturas de 50 y 60 °C, mientras que a temperatura de 70 y 80 °C este fenómeno se observa en los primeros 10 s. Pasados estos tiempos se observó cambios leves de la pendiente a 50 y 60 °C, mientras que a 70 y 80 °C se evidencia una reducción lineal de la actividad pero en una cantidad no significativa; Vivar et al., (2007) reportó igual conclusión en *Crataegus pubescens* afirmando que en los extractos crudos, muchos factores tales como la presencia de proteínas diferentes a la PME, isoenzimas o agregados de proteínas podrían influir en la estabilidad térmica; de igual forma Soysal y Soylemez (2005) describen el fenómeno como la presencia de una fracción termolábil y otra resistente al calor; siendo necesario describir este fenómeno con un modelo de primer orden bifásico.

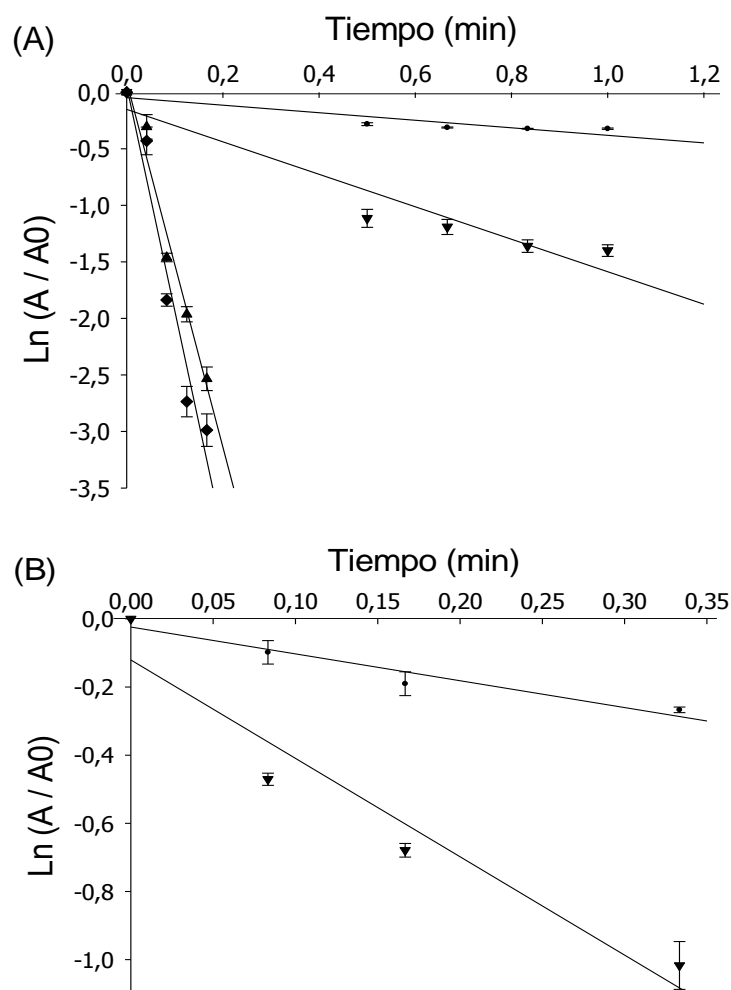


Fig. 2: Inactivación térmica PME en zumo de tomate de árbol, utilizando un modelo bifásico: Fracción estable: (A) ● 50 °C; ▼ 60 °C; ▲ 70 °C; ◆ 80 °C. Fracción lábil: (B) ● 50 °C; ▼ 60 °C.

En la tabla 2 se muestra los valores de las constantes cinéticas de velocidad de inactivación en la fracción estable y lábil (K_R y K_L) obtenidos a partir de la figura 2 (datos normalizados). Las grandes diferencias entre K_R y K_L indican que las condiciones utilizadas para el cálculo fueron adecuadas. Conforme aumentó la temperatura las velocidades de inactivación fueron mayores; conclusión similar reportaron Balogh et al., (2004) en la inactivación de PME en zanahoria y Wilinska et al., (2008) en la inactivación de PME en jugo de manzana y moras silvestres; este último encontró valores de K en el intervalo de 0.010 y 1.93 min^{-1} , obtenidos a temperaturas de 52 y 66 °C, respectivamente; los valores a 60°C, encontrados en esta investigación para la fracción lábil (2.783 min^{-1}), difieren de los anteriores, siendo la PME del zumo de tomate de árbol más sensible al calor. Según la prueba de la LSD de Fisher a un 95% de confianza existen diferencias significativas entre las constantes cinéticas K ($p < 0.05$) (tabla 2).

Al comparar los tiempos de reducción decimal (valores-D) (tabla 2) en el rango de temperatura de 70 a 80 °C no se evidenciaron diferencias significativas según la prueba de la LSD de Fisher a un 95%; mientras, que en el intervalo de temperatura de 50 a 60 °C, PME de tomate de árbol, a pesar de presentar altos valores de (K) sigue siendo más termoestable que otras frutas. Los valores Z (°C) estimados de la pendiente del logaritmo del valor D de las fracciones lábil y estable al calor frente a la temperatura se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Parámetros cinéticos inactivación térmica de PME en las fracciones resistentes y lábiles en zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Temperatura (°C)	K_R (min ⁻¹)	R ²	Valor D_R (min)	K_L (min ⁻¹)	R ²	Valor D_L (min)
50	0.077±0.008 ^a	0.906	30.399±4.795 ^a	0.778±0.062 ^a	0.934	4.223±0.327 ^a
60	0.623±0.032 ^b	0.918	3.702±0.190 ^b	2.783±0.152 ^b	0.925	1.159±0.088 ^b
70	15.338±0.990 ^c	0.961	0.150±0.009 ^c	-----	---	----
80	19.877±0.795 ^d	0.952	0.116±0.004 ^{cd}	-----	---	----
	Z_R (°C)		Ea_R (kJ/mol)	Z_L (°C)		Ea_L (kJ/mol)
	11.581 ± 0.201		189.595 ± 3.260	18.046 ± 1.472		----

Respecto de la dependencia de las constantes de velocidad de inactivación con la temperatura (figura 3), la energía de activación solo se calculó para la fracción estable, debido a la ausencia de puntos para la fracción lábil. Sin embargo, Espachs et al., (2006) y Soysa y Soylemez, (2005) reportan que el valor de energía de activación de la fracción lábil debe ser menor en comparación con la fracción estable.

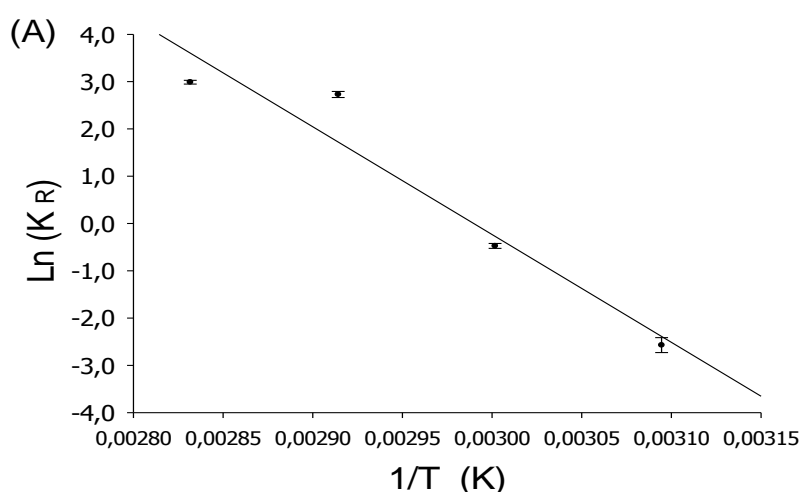


Fig. 3: Gráfico de Arrhenius (A) fracción estable: $Y = -22778.246 x + 68.106$; $R^2 = 0.932$.

El valor de Ea obtenido en la fracción estable 189.595 kJ/mol, difiere de la reportada en otros productos: Banana (*Musa acuminata*, cv Cavendish) 379 kJ/mol, tomate (*Lycopersicon esculentum*) 369 kJ/mol y zanahoria (*Daucus carota* L.) 336 kJ/mol (Espachs et al., 2006); siendo la PME del zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) más sensible a la temperatura. 189.595 kJ/mol sería la mínima energía

necesaria para la inactivación de PME en esta fruta. Valores cercanos a los obtenidos en esta investigación son los reportados por Terefe et al., (2009) para PME en jugo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) 193 kJ/mol un 47.69% inferior al valor reportado por Espachs et al., (2006) en la enzima purificada y Vivar et al., (2007) en PME de tejocote (*Crataegus pubescens*) 146.16 kJ/mol.

Carotenoides totales

Yanza y Maldonado (2012) mencionan que el color naranja de la pulpa del tomate de árbol se debe a la presencia de carotenoides, siendo este fruto fuente importante de ellos (Meza y Manzano, 2009, Osorio et al., 2012). En la figura 4, se muestra el efecto de los tratamientos térmicos durante la inactivación de PME en el contenido de carotenoides. Los valores expuestos para el testigo 6.371 mg BC/100 g de muestra, se encuentran dentro del rango de valores expuestos en otras investigaciones: 4.00 mg/100 g de muestra (Repo y Encina, 2008), 5.00 mg/100 g de mesocarpio + endocarpio (Cuesta et al., 2013) y 2.60 a 11.20 mg/100 g (Acosta et al., 2014), las variaciones se atribuyen a modificaciones en el cultivo, clima, suelo, variedad del fruto, entre otras (Santander et al., 2013).

Según el análisis de varianza (ANOVA), se determinó diferencias estadísticamente significativas (p -valor=0.000); entre los zumos tratados a 70 y 80 °C x 10 y 7 s, respectivamente, frente a un testigo sin tratamiento térmico; la prueba de medias e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher, mostro que los tratamientos a 70 y 80 °C, no presentan diferencia significativa; considerándose los dos tratamientos como adecuados en la inactivación de PME.

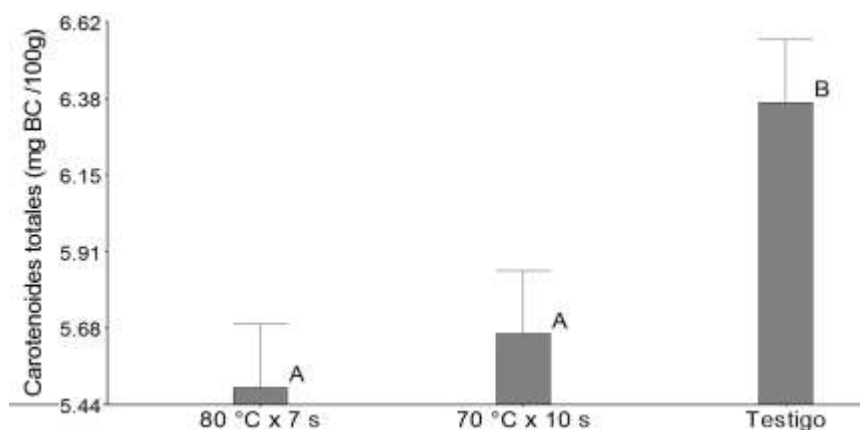


Fig. 4: Medias e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable contenido de carotenoides totales.

Respecto de la disminución en el contenido de carotenoides, por efecto de los tratamientos; Rocha, Fávoro & Ferreira (2012) mencionan que son sensibles a diversos factores: luz, presencia de oxígeno y las altas temperaturas, siendo esta última quien influye en mayor grado (Jacob et al., 2010). Según Meléndez et al., (2004) la pasteurización ocasiona variaciones significativas en el contenido total de los carotenoides, explicando lo evidenciado en la figura 4.

Otras investigaciones, como la realizada por Mertz et al., (2010) en la cual se sometió néctares de tomate de árbol a temperaturas de 80, 90, y 95 °C x 10 min, se encontró pérdidas significativas, siendo los carotenoides zeaxantina y B-caroteno los más afectados. Pese a lo anterior los néctares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) mantienen una cantidad significativa de carotenoides totales como lo reportan Rawson et al., (2011), en comparación con lo evidenciado por Oliveira et al., (2012) durante el tratamiento de térmico de melocotón a 90 °C x 5 min en el centro térmico, encontrando pérdidas en carotenoides totales de 65%.

CONCLUSIONES

En el zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) crudo, la enzima PME fue inactivada térmicamente por pasteurización a temperaturas \geq 70 °C durante 10 segundos, siendo de importancia este resultado para el procesamiento de esta fruta.

La cinética de inactivación térmica de PME en zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) evidencia la presencia de una fracción termolábil y otra resistente al calor; siendo necesario describir este fenómeno con un modelo de primer orden bifásico.

No se encontró diferencia significativa, entre los tratamientos a 70 °C x 10 s y 80 °C x 7 s, en el contenido de carotenos totales, evidenciando pérdidas iguales a 11.205 % y 13.795 %, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a: La Universidad de Nariño - La Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI). - COLCIENCIAS por la convocatoria 566 del 2012, Jóvenes Investigadores e Innovadores y Grupo de investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria (TEA) y Grupo de Apoyo a la investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA).

REFERENCIAS

Acosta, P. G. y ocho autores mas, *Diversity for chemical composition in a collection of different varietal types of tree tomato (Solanum betaceum Cav.), an Andean exotic fruit*, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.07.152, Food Chem, 169, 327-335 (2014)

Agcam, E., A. Akyıldız, y G. Akdemir, *Effects of PEF and heat pasteurization on PME activity in orange juice with regard to a new inactivation kinetic model*, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.05.097, Food Chem, 165, 70–76 (2014)

Agüero, M. V., M. R. Ansorena, S. I. Roura, y C. E. Del Valle, *Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash*, doi:10.1016/j.lwt.2007.03.029, LWT-Food Sci & Technol, 4, 401 – 407 (2008)

Alvarado, C. E., M. Coronado, F. Prósperi, M. Guerra, *Desarrollo de yogurt con capacidad antioxidante elaborado con leche de cabra (Capra hircus) y tomate de árbol (Cyphomandra betacea Sendtn.)*, <https://sites.google.com/site/1rvcta/v2-n2-2011/r5>; ISSN: 2218-4384, Rev Venez Cienc y Tecnol Aliment, 2(2), 293-312 (2011)

Andrade, J., D. Acosta, M. Bucheli, y G. Luna, *Elaboración y evaluación de un recubrimiento comestible para la conservación postcosecha del tomate de árbol (Cyphomandra betacea Cav. Sendt)*, <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1675/2071>; ISSN 0120-0135, Rev Ciencias Agrícolas, 30(2), 60-72 (2013)

Balogh, T., C. Smout, B. Nguyen, A. Van Loey, y M. Hendrickx, *Thermal and high-pressure inactivation kinetics of carrot pectinmethylesterase: From model system to real foods*, doi:10.1016/j.ifset.2004.06.002, IFSET, 5, 429-436 (2004)

Belén, D. R., M. J. Moreno, R. Alemán, y F. Álvarez, *Efecto de la temperatura de secado sobre la degradación de carotenoides en frutos de coroba (Jessenia polycarpa Karst)*, doi: 10.1080/1135812040948776, Cienc Tecnol Aliment, 4 (3), 206-210 (2004)

Bernal De, R. I., *Análisis de alimentos*. 3^{ra} edición, 58-60. Editora Guadalupe Ltda, Bogotá, Colombia (1998).

Cruz, R. M., M. C. Vieira, y C. L. Silva, *Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (Nasturtium officinale) vitamin C degradation kinetics*, doi:10.1016/j.ifset.2007.10.005, IFSET, 9 (4), 483-488 (2008)

Cuesta, L., M. J. Andrade, C. Moreno, A. Concellón, *Contenido de compuestos antioxidantes en tres estados de maduración de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.) cultivado a diferentes alturas (m.s.n.m.)*, <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute>; ISSN: 1390-6542, Enfoque UTE, 4 (1), 32-49 (2013)

Do Nascimento, G. E., L. A. Hamm, C. H. Baggio, M. F. Werner, M. Lacomini, y L. M. Cordeiro, *Structure of a galactoarabinoglucuronoxylan from tamarillo (Solanum betaceum), a tropical exotic fruit, and its biological activity*, doi:10.1016/j.foodchem.2013.03.023, Food Chem, 141, 510–516 (2013)

Durán, M. G., y M. J. Moreno, *Evaluación de algunas mezclas de solvente en la extracción de carotenoides de tamarillo (Cyphomandra betaceae Sendt)*, doi: 10.1080/11358120009487646, Cienc Tecnol Aliment, 34-38 (2000)

Espachs, A., A. Van Loey, M. Hendrickx, y O. Martín, *Inactivation of plant pectin methylesterase by thermal or high intensity pulsed electric field treatments*, doi:10.1016/j.ifset.2005.07.002, IFSET, 7, 40 – 48 (2006)

Garnacho, G., T. Kaszab, M. Horváth, G. Géczi, *Comparative study of heat-treated orange juice*, Journal of Microbiology, <http://www.jmbfs.org>; ISSN: 1338-5178, J microb biotech food sci, 2 (2), 446-457 (2012)

- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, *Norma Técnica Colombiana (NTC-4105)*, Bogotá, D.C (1997)
- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, *Norma Técnica Colombiana (NTC-5468)*, Bogotá, D.C (2007)
- Jacob, F. J., G. García, y M. J. Periago, *Stability of carotenoids, phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant capacity of tomatoes during thermal processing*, <http://www.alanrevista.org/ediciones/2010-2/art13.asp#>; ISSN:0004-0622, Arch Latinoam Nutr, 60(2), 192-198 (2010)
- Lagos, L. K., F. A. Vallejo, T. C. Lagos, D. E. Duarte, *Correlaciones genotípicas, fenotípicas y ambientales, y análisis de sendero en tomate de árbol (Cyphomandra betacea Cav. Sendt.)*, http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/33855; ISSN: 0120-2812, Acta Agronómica, 62 (3), 215-222 (2013)
- Maca, M. P., O. Osorio, y D. F. Mejía, *Inactivación Térmica de Pectinmetilesterasa en Tomate de Árbol (Solanum betaceum)*, http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000300006&lng=es&nrm=iso. ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300006>. Info Tecnol, 24(3), 41-50 (2013)
- Márquez, C. J., C. M. Otero, y M. Cortés, *Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (Cyphomandra betacea S.) en poscosecha*, <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/vitae/article/viewFile/603/513>; ISSN 0121-4004, Vitae, 14(2), 9-16 (2007)
- Meléndez, A. J., I. M. Vicario, y F. J. Heredia, *Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos*, http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200011&lng=es&nrm=iso; ISSN 0004-0622, ALAN, 54(2), 209-215 (2004)
- Mertz, C., P. Brat, C. Caris, Z. Gunata, *Characterization and thermal lability of carotenoids and vitamin C of tamarillo fruit (Solanum betaceum Cav.)*, doi:10.1016/j.foodchem.2009.07.009, Food Chem, 119, 653–659 (2010)
- Meza, N., y J. Manzano, *Características del fruto de tomate de árbol (Cyphomandra betaceae [Cav.] Sendtn) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana*, <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=3308209>; ISSN-e 1317-9152, Revista UDO Agrícola, 9 (2), 289-294 (2009)
- Oliveira, A., M. Pintado, D. Almeida, *Phytochemical composition and antioxidant activity of peach as affected by pasteurization and storage duration*, doi:10.1016/j.lwt.2012.07.008, LWT - Food Sci Technol, 49, 202-207 (2012)
- Ordóñez, L. E., y L. S. Yoshioka, *Cinética de degradación térmica de vitamina c en pulpa de mango (mangifera indica L)*, <http://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914019.pdf>; ISSN: 0121-4004, Vitae, 19 (1), 81-83 (2012)
- Osorio, C., N. Hurtado, C. Dawid, T. Hofmann, F. Heredia, y A. Morales, *Chemical characterisation of anthocyanins in tamarillo (Solanum betaceum Cav.) and Andes berry (Rubus glaucus Benth.) fruits*, doi:10.1016/j.foodchem.2011.12.026, Food Chem, 132 (4), 1915–1921 (2012)
- Pinchao, Y. A., O. Osorio, y D. Mejia, *Inactivación Térmica de Pectinmetilesterasa en Jugo de Uchuva (Physalis peruviana L.)*, doi: 10.4067/S0718-07642014000500009, Inf Tecnol, 25 (5), 55-64 (2014)
- Ramirez, N, *Optimización del proceso de elaboración de pulpa de tomate de árbol (Solanum betaceum cav), maximizando la retención de ácido ascórbico*, Tesis pregrado Ingeniería de Industrias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería en Industrias Agropecuarias, UTPL, Loja, Ecuador (2008)
- Rawson, A., A. Patras, B. K. Tiwari, F. Noci, T. Koutchma, y N. Brunton, *Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances*, doi:10.1016/j.foodres.2011.02.053, Food Res Int, 44, 1875–1887 (2011)

- Repo de Carrasco, R., y C. R. Encina, *Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas*, http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200004&lng=es&nrm=iso; ISSN 1810-634X, Rev Soc Quím Perú, 74 (2) ,108-124 (2008)
- Rocha, G. A., C. S. Fávaro, y C. R. Ferreira, *Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules*, doi:10.1016/j.fbp.2011.01.001, Food and Bioprod Process, 90, 37–42 (2012)
- Rodríguez, V., M. Jaramillo, L. Lagos, P. Gutiérrez, y M. Montoya, *Identificación serológica y molecular de virus del tomate de árbol (Solanum betaceum) en cultivos de Córdoba (Nariño, Colombia)*, <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3786105>; ISSN 1794-4449, Revista Lasallista de Investigación, 8 (1), 50-60 (2011)
- Santander, M. G., D. F. Mejía, y O. Osorio, *Estandarización del protocolo para evaluar la actividad enzimática de peroxidasa en tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.)*, <http://revistas.unicordoba.edu.co/ojs/index.php/temasagrarios/article/view/604>; ISSN: 0122-7610, Temas Agrarios, 18 (2), 36 – 49 (2013)
- Soysa, C., y Z. Soylemez, *Kinetics and inactivation of carrot peroxidase by heat treatment*, doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.06.009 , J Food Eng, 68, 349–356 (2005)
- Terefe, N. S., M. Gamage, K. Vilku, L. Simons, R. Mawson, y C. Versteeg, *The kinetics of inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase in tomato juice by thermosonication*, doi:10.1016/j.foodchem.2009.03.067, Food Chem, 117, 20–27 (2009)
- Tiwari, B. K., K. Muthukumarappan, C. P. Odonnell, y P. J. Cullen, *Inactivation kinetics of pectin methylesterase and cloud retention in sonicated orange juice*, doi:10.1016/j.ifset.2008.11.006, IFSET, 10,166-171 (2009)
- Torres, A., *Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (Cyphomandra betacea) (Cav.) Sendtn*, http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222012000400010&lng=es&nrm=iso; ISSN 0004-0622, ALAN, 62 (4), 381-388 (2012)
- Villareal, Y., D. F. Mejía, O. Osorio, y A. F. Cerón, *Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina C en jugos de frutas*, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200008&lng=en&nrm=iso; ISSN 1692-3561, Rev Bio Agro, 11 (2), 66-75 (2013)
- Vivar-Vera, M. A., J. A. Salazar, G. Calva, E. G. Ramos, *Extraction, thermal stability and kinetic behavior of pectinmethylesterase from hawthorn (Crataegus pubescens) fruit*, doi:10.1016/j.lwt.2005.10.005, LWT-Food Sci & Technol, 40, 278-284 (2007)
- Wilinska, A., A. S. Rodrigues, J. Bryjak, M. Polakovic, *Thermal inactivation of exogenous pectin methylesterase in apple and cloudberry juices*, doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.08.009, J Food Eng, 85, 459-465 (2008)
- Yanza, E. G., y L. Y. Maldonado, *Determinación del contenido de a-Tocoferol y B-Caroteno en el zumo y el liofilizado de tomate de árbol (Cyphomandra Betacea Cav Sendt)*, Bistua, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90326388007>; ISSN 0120-4211, Revista Fac Ciencias B, 10(2), 28-35 (2012)