

CAPITULO VII

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Obtención de los purés de frutas

Se procesaron 40 kg de cada fruta. En la tabla V se muestra el rendimiento obtenido de cada una de ellas. El rendimiento de pulpa de piña refinada obtenido fue cerca del 50 %. Este valor se encontró por debajo de lo reportado por Moreno (2003) que fue del 58.18 %. Para el caso de esta fruta se considera mayor merma ya que debido a el grosor de la cáscara y a la presencia de ojos en la fruta genera pérdidas muy importantes. En el caso de la guayaba se obtuvo un rendimiento del 76 %. En la pulpa de mango refinada se obtuvo un rendimiento cerca del 67.4 %. Este valor se encontró por arriba de lo reportado por Moreno (2003) y por debajo de lo reportado por Somogyi *et al.*, (1996^b), que reporta el 70%, estas diferencias se pueden atribuir primero que nada, al estado de madurez de la fruta, así como también a las pérdidas durante el pelado y deshuesado y al tamaño del tamiz que se utiliza para la refinación de la fruta durante el pulpeado y la variedad de la fruta.

Tabla V. Rendimiento de las pulpas de frutas

	PIÑA	GUAYABA	MANGO
kg de fruta	40.00	40.00	40.00
kg de pulpa bruta	26.39	39.70	29.09
kg de pulpa refinada	20.00	30.18	26.99
% de rendimiento	50.00	75.50	67.48

7.2 Caracterización de la materia prima

En la tabla VI se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de las pulpas de frutas.

Tabla VI. Caracterización de los purés de frutas

	PIÑA		GUAYABA		MANGO	
	Media	Desvest	Media	Desvest	Media	Desvest
°Brix	11.27	0.115	10.73	0.058	18.60	0.115
% acidez*	0.699	0.007	0.839	0.032	0.435	0.014
pH	3.66	0.006	3.60	0.006	4.50	0.010
Color	-	-	-	-	-	-
L	23.19	0.021	35.16	0.021	29.39	0.015
a	-1.18	0.017	-2.31	0.015	-1.19	0.020
b	1.25	0.015	7.36	0.012	9.84	0.025

* Expresada como porcentaje de ácido cítrico.
Desvest: Desviación estándar.

Hodgson y Hodgson (1993), reporta valores de pH para jugo de piña entre 3.3 y 3.5 por lo que la pulpa de piña se encuentra ligeramente fuera de este rango. En el puré de guayaba para este trabajo se reportan valores de pH de 3.6 por lo también se encuentra debajo de lo reportado por Córdoba (2004). Ramírez (2002), reporta valores de pH para la misma variedad de mango entre 4.25-4.65 por lo que el valor encontrado se encuentra dentro del intervalo reportado para esta fruta.

La FAO (2003), reporta valores para piña de 14°Brix. Dicho valor es superior al encontrado en este trabajo. En promedio la fruta madura contiene 15-18°Brix, pero las frutas cosechadas fuera de temporada (en el invierno) contiene 6-11 °Brix, debido a que la fruta en condiciones de frío contiene menor cantidad de azúcar y mayor acidez (Macrae *et al.*, 1993). En la guayaba se presentan valores de 10.7 °Brix, este valor está cercano con el reportado por Córdoba (2004) 11°Brix. El contenido de sólidos solubles en el mango fue 18.6, este valor se encuentra cercano al rango de 15-20°Brix reportado por Somogyi *et al.*,

(1996^b). Cano (1994) citado por Moreno (2003) reportó un rango entre 19-22°Brix para puré de mango variedad Manila. Cabe mencionar que las variaciones de los parámetros en la caracterización; van a tender a diferir dependiendo del grado de madurez en el que se encuentren las frutas.

El valor de la acidez experimental en la piña es 0.699 %, la FAO (2003) reporta 0.56%. En la guayaba se encontró 0.839 % de acidez titulable superior al reportado por Córdoba (2004). Somogyi (1996^b) reporta valores de % de acidez en puré de mango de 0.1-1.1% por lo que se encuentra dentro del rango para los valores obtenidos. Los ácidos orgánicos decrecen con la madurez de la fruta y el contenido de azúcares aumenta (Medlicott y Thompson, 1985), ya que éstos son usados como sustratos para la síntesis de nuevos compuestos (Wills *et al.*, 1989).

En el caso de color en la escala Hunter; los valores medidos para la pulpa de piña tiene un color entre amarillo y verde, lo cual se encuentra dentro de lo esperado, dichos valores son similares a los reportados por Moreno(2003); $L = 25.17$; $a = -2.52$; $b = 2.99$. Para la guayaba; estos muestran diferencias notables en comparación a los reportados por Córdoba (2004); $L = 44.63$; $a = -2.54$; $b = 11.93$. Los datos de color para la pulpa de mango fueron diferentes a los reportados por Ramírez (2002) $L = 53.57$; $a = 10.23$; $b = 33.08$ para la misma variedad de mango (Ataulfo). Wills *et al.*, (1989), menciona que las frutas climatéricas pierden el color verde mas rápido que las frutas no climatéricas y esto ocurre cercano al punto óptimo de consumo y esta pérdida de color se debe a la degradación de la estructura de la clorofila que va asociada a la aparición de los pigmentos carotenoides.

Se caracterizaron las pulpas de frutas descongeladas. En la tabla VII se muestran los resultados obtenidos. Como se puede observar, en los purés de frutas después de la congelación hay un aumento en los °Brix en comparación con los frescos, todos los valores disminuyen.

Tabla VII. Caracterización de las pulpas de frutas descongeladas

	PIÑA		GUAYABA		MANGO	
	Media	Desvest	Media	Desvest	Media	Desvest
° Brix	12.63	0.115	11.23	0.058	18.80	0.100
% Acidez*	0.615	0.011	0.683	0.007	0.402	0.011
PH	3.53	0.076	3.53	0.015	4.32	0.010
Color						
L	20.11	0.020	32.11	0.030	29.17	0.015
A	-1.35	0.015	-1.95	0.015	-1.07	0.031
B	1.57	0.032	6.03	0.021	10.04	0.021
Vitamina C**	21.3	0.129	168.10	0.125	71.40	0.049
UPE/mL	2.9×10^{-3}	0.0003	5.11×10^{-4}	0.0001	1.56×10^{-2}	0.0006

*Expresado como porcentaje de ácido cítrico

** mg/100 g

Desvest: desviación estándar

La congelación es una técnica de conservación de alimentos muy antigua. Dicha técnica de conservación ha sido empleada en este trabajo con el fin de prolongar la vida de anaquel de las pulpas de frutas, inhibir el desarrollo de microorganismos patógenos y deteriorativos y al mismo tiempo retardar reacciones bioquímicas y enzimáticas.

Rahman (1999) señala que en la congelación hay un aumento en la concentración de las sustancias disueltas en el producto debido a la remoción de agua en forma de hielo. Durante este proceso se provocan cambios en las propiedades físicas del alimentos tales como fuerza iónica, pH, viscosidad, actividad de agua, tensión superficial y en el potencial óxido-reducción.

En el caso de estas pulpas de frutas los pigmentos predominantes son los carotenoides que son relativamente estables durante el almacenamiento y manejo clásico de casi todas las frutas y hortalizas. La congelación apenas produce cambios en el contenido de carotenos (Fennema , 2000). Rahman (1999) menciona que en la congelación y descongelación ocurre una degradación celular provocando la degradación de pigmentos y la isomerización de carotenoides debido a la acción de diversas enzimas como las lipoxigenasas.

7.3 Selección de la mezcla de piña-guayaba-mango

Para la selección de la mezcla de piña-guayaba-mango se realizó una prueba sensorial de escala hedónica de nueve puntos con las pulpas a 18 jueces no entrenados. En dicha prueba se les pidió a los jueces que calificaran las muestras de acuerdo a su preferencia por el sabor, color, olor y aceptación general. En la tabla VIII se muestran las formulaciones evaluadas y las calificaciones de los jueces por cada atributo.

Tabla VIII. Formulaciones evaluadas en la prueba sensorial y resultados promedio para cada uno de los atributos sensoriales.

Mezcla (P-G-M)*	Color	Olor	Sabor	Aceptación general
20-20-60	8.0	6.3	6.9	6.1
20-60-20	5.9	6.4	4.9	3.9
60-20-20	5.4	5.1	5.9	5.9
20-40-40	6.4	6.1	5.7	6.1
40-20-40	7.0	6.8	6.4	6.4
40-40-20	5.9	6.3	5.5	5.7
33-33-33	6.2	6.2	5.7	6.0
27-27-47	6.4	6.3	7.0	6.8

27-47-27	6.3	6.2	4.9	4.9
47-27-27	6.4	6.0	5.8	5.9
20-20-60	7.8	6.7	7.0	6.7
60-20-20	4.6	4.1	4.0	4.1
20-60-20	4.9	5.4	4.0	3.7
40-40-20	5.4	5.0	4.7	4.7

* Piña-Guayaba-Mango.

Los resultados arrojados por los jueces fueron analizados en el programa MINITAB para Windows realizando un ANOVA de una vía como resultando, se encontró que la mezcla que contenía 20 % piña-20 % guayaba-60 % mango; fue significativamente diferente en comparación con las demás muestras y la que tuvo mejor aceptación por los jueces.

7.4 Caracterización del puré y néctar de piña-guayaba-mango

En la tabla IX se muestran las características fisicoquímicas del puré y el néctar de 20% piña- 20% guayaba- 60% mango. Los parámetros del néctar medidos en la caracterización disminuyeron en comparación con los del puré, esto se debe a la adición de agua al puré para la formulación del néctar lo que provocó una dilución en los componentes y en la actividad de la enzima pectinesterasa.

El contenido de vitamina C en el néctar de piña-guayaba-mango fue de 112 mg/100 g de muestra respectivamente. En esta mezcla no existen valores reportados. La FAO (2003) reporta valores para cada fruta por separado; para la piña; 15 mg/ 100g; para guayaba reporta un promedio de diferentes variedades de 183 mg/100 g; para mango 80 mg/ 100g. Dicha mezcla en el néctar se convierte en una buena fuente de vitamina C ya que Aurand

et al, (1987) reporta que las recomendaciones diarias son de 60 mg para adultos 45 mg para niños y 35 mg para infantes.

En lo que se refiere al color en la escala Hunter los tres parámetros no presentaron variaciones importantes por lo que tanto en el puré como en el néctar se tienen las mismas tendencias en dichos parámetros en el caso del parámetro *a* el color del puré y néctar están en la zona de los verdes y en el parámetro *b* se encuentran en la zona de los amarillos.

El contenido de enzima pectinesterasa en el puré de piña-guayaba-mango es de 0.0856 UPE/mL; Moreno (2003) reporta 0.115 UPE/mL para un puré de mango-piña. Argaiz y López-Malo (1995) reportaron un contenido de pectinesterasa para un puré de mango variedad manila de 0.045 UPE/mL. Moreno (2003) reporta valores de 0.045 UPE/mL en un néctar de mango-piña y en este trabajo se tienen valores de 0.0321 UPE/mL para el néctar de piña-guayaba-mango. En estos valores se pueden presentar variaciones primero que nada por que no se tratan de las mismas mezcla, también se puede deber a las técnicas que se hayan utilizado para la determinación de la actividad enzimática y a la misma mezcla; la actividad enzimática encontrada también puede deberse a que se tengan presentes isoenzimas, lo cual interfiere con la determinación de las UPE.

Tabla IX: Caracterización de los productos.

	Puré		Néctar	
	Media	Desvest	Media	Desvest
° Brix	14.6	0.100	12.93	0.153
% de acidez*	0.501	0.0006	0.352	0.0004
pH	4.29	0.015	4.17	0.010
color				

L	27.43	0.017	25.32	0.024
a	-0.98	0.029	-2.18	0.015
b	9.24	0.015	5.25	0.020
Vitamina C**	-	-	112.23	0.176
UPE/mL***	0.0856	0.0004	0.0321	0.0007

* Expresado como porcentaje de ácido cítrico.

** mg/ 100 g.

*** UPE = Unidades Pectinmetilesterasa.

7.5 Curvas de penetración de calor en el néctar de piña-guayaba-mango

Con los datos registrados de las temperaturas de tratamiento se graficaron las curvas de penetración de calor que se presentan en la figura 7.1. La transferencia de calor en el néctar de piña-guayaba-mango se dio mediante un mecanismo de convección-conducción; principalmente, predomina la convección. Este mecanismo de transferencia es más rápido que la conducción y en consecuencia la degradación del alimento es menor (Rodrigo *et al.*, 1980^b), debido a que se trata de un producto líquido.

El tiempo necesario para que el néctar alcanzara la temperatura de trabajo (CUT) fueron de 2.5 y 4.4 minutos a temperaturas entre 75 y 90 °C. Se observó que a medida que se incrementaban las temperaturas de tratamiento, el tiempo de subida (CUT) disminuyó.

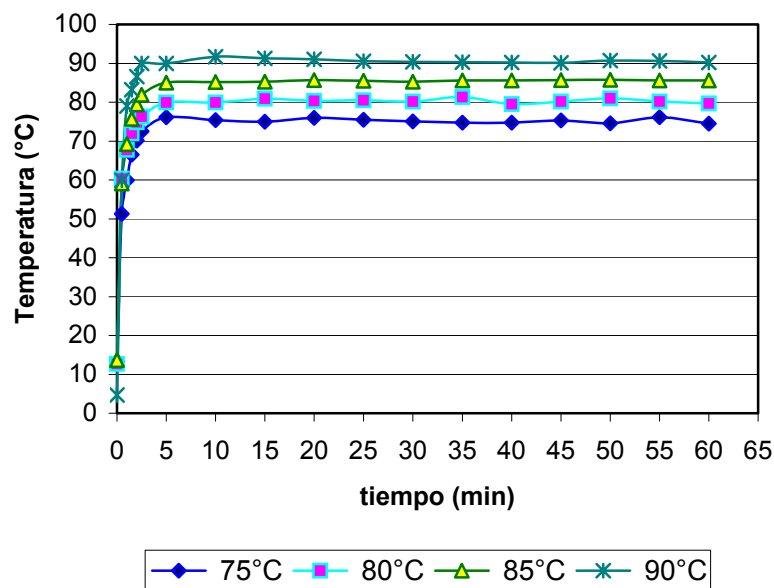
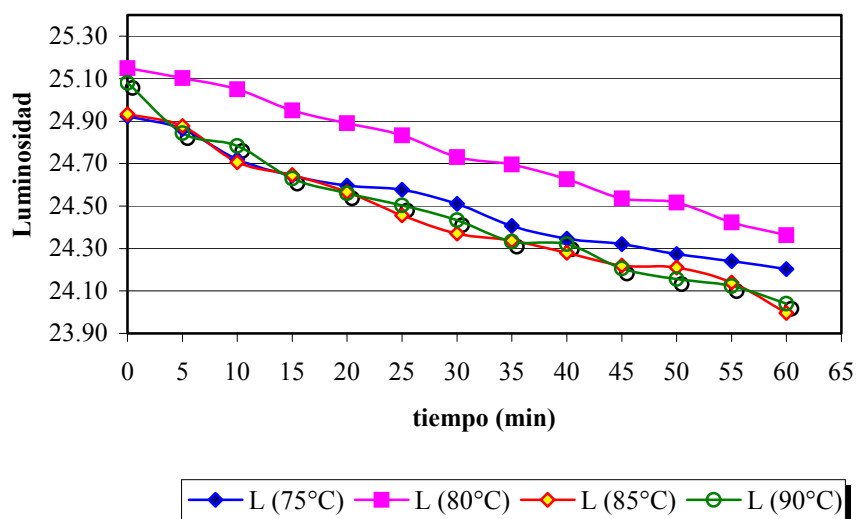


Figura 7.1 Curvas de penetración de calor en néctar de piña-guayaba-mango.

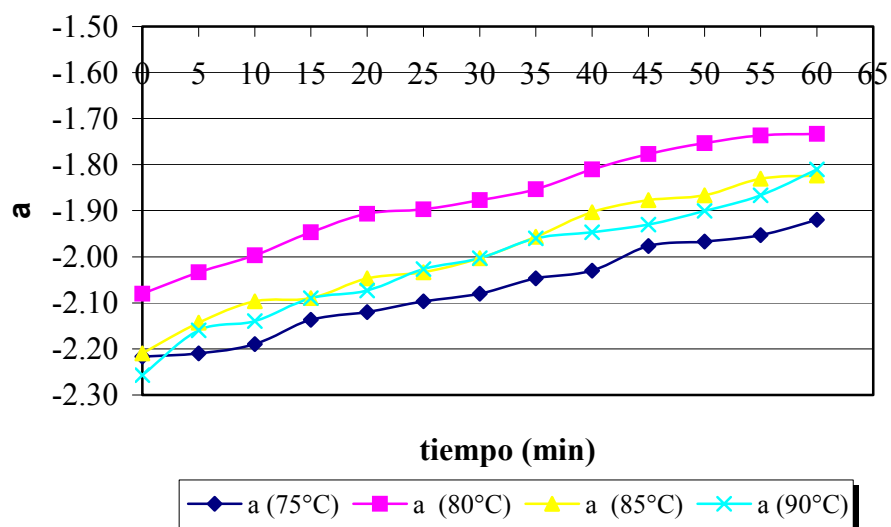
7.6 Cinética de cambios en color en néctar de piña-guayaba-mango

Durante el tratamiento térmico del néctar visualmente no se observaron cambios en color, experimentalmente (instrumentalmente) sí se detectaron pérdidas en color a medida que se incrementaban los tiempos y las temperaturas de tratamiento. Debido a su estructura insaturada, los carotenoides están sujetos a muchos cambios químicos inducidos por las diferentes condiciones de procesamiento principalmente por altas temperaturas. Su transformación además de provocar cambios en color también reduce el valor nutritivo debido a que se destruye la actividad de la provitamina (Badui, 1999). Las altas temperaturas en ausencia de oxígeno, provocan su degradación de diferentes maneras ; se han identificado por cromatografía de gases y espectroscopías de infrarrojo y de masas, diversos compuestos volátiles provenientes de la ruptura del β -caroteno tales como ionona, tolueno, xileno y 2,6-dimetilnaftaleno (Ishiwari, 1980) al igual que otros compuestos

oxidados como β -ciclocitral, β -ionona, 4,6-epoxi- β -ionona, 4-oxo- β -ionona y dihidroactinodiólido entre otros (Schrier *et al.*, 1979). En las figuras 7.2, 7.3 y 7.4 se muestran los cambios en los parámetros L, a y b de la escala Hunter en el néctar de piña-guayaba-mango a las diferentes temperaturas de tratamiento.



7.2 Cambios en la Luminosidad del néctar de piña-guayaba-mango.



7.3 Cambios en el parámetro *a* del néctar de piña-guayaba-mango

a diferentes temperaturas de tratamiento con respecto al tiempo.

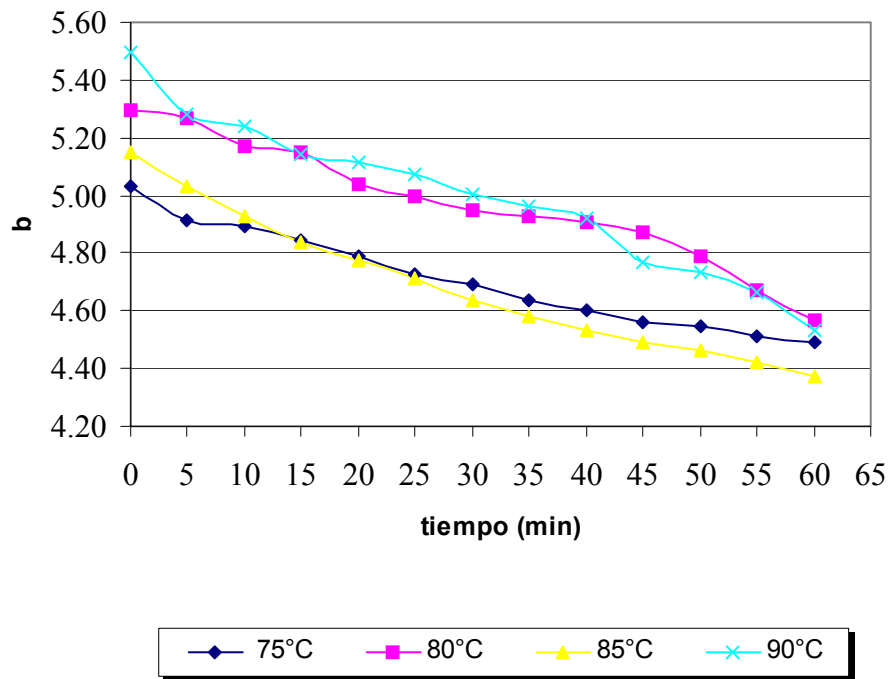


Figura 7.4 Cambios en el parámetro b del néctar de piña-guayaba-mango a diferentes temperaturas de tratamiento con respecto al tiempo.

Como se puede observar en las figuras; los parámetros L y b tendieron a disminuir a medida que se incrementaban los tiempos y las temperaturas de tratamiento; mientras que los valores de a aumentaron progresivamente. Dichos valores no fueron mayores a 2 unidades. Moreno (2003) reportó el mismo comportamiento en néctar de mango-piña. En la tabla X se muestran los valores de k obtenidos para los parámetros evaluados para el néctar de piña-guayaba-mango.

Tabla X. Valores de k de los parámetros de color evaluados para néctar de piña-

guayaba-mango.

k (min ⁻¹)				
T (°C)	L	A	b	ΔE
75	0.0119	0.0051	0.0088	0.0155
80	0.0134	0.0058	0.0110	0.0182
85	0.0146	0.0064	0.0129	0.0201
90	0.0157	0.0065	0.0137	0.0215

Los valores obtenidos comparados con los de Moreno (2003) para un néctar de mango-piña son diferentes con los reportados en éste trabajo; estas diferencias se atribuyen a la presencia de la guayaba en el néctar y la variedad de mango empleada que en el caso de Moreno fue variedad Manila y nuestro caso fue variedad Ataulfo. Las constantes de degradación térmica para los parámetros L, a, b y ΔE siguieron una relación proporcional conforme se incrementaban las temperaturas.

Durante el tratamiento térmico se llevan a cabo reacciones de oscurecimiento no enzimático debido a la presencia de azúcares reductores y aminoácidos en la piña, la guayaba y el mango. El oscurecimiento puede ocurrir a través de la formación de sustancias pigmentadas por la descomposición de ciertos constituyentes químicos o por la reacción de algunos constituyentes con el oxígeno del aire o por los mismos constituyentes inducidos durante la manufactura del producto (Joslyn, 1941). La degradación térmica de color en el néctar de piña-guayaba-mango se ve reflejada en la pérdida de luminosidad; los parámetros *a* y *b* también se degradan, ya que se presentan cambios en la intensidad de los tonos verdes y amarillos debido a que pueden existir posibles reacciones de isomerización *cis-trans*. Chan y Cavaletto (1982), reportaron que los cambios en color en puré de papaya son el

resultado de la isomerización de los carotenoides y que el grado de isomerización depende de la severidad del proceso tiempo y temperatura en el producto alimenticio (Chan y Cavaletto, 1975).

En la tabla XI se muestran los valores D , z y E_a para los parámetros de color en el néctar de piña-guayaba-mango. Como se observa en la tabla; los valores D tienen una relación inversa con la temperatura de tratamiento; es decir, a medida que se incrementan las temperaturas estos valores van disminuyendo. En el caso de los valores D como se pueden observar, son altos lo que nos puede indicar que son favorables para el procesamiento puesto que se requieren de tiempos amplios para que pueda haber cambios en el color del producto.

Tabla XI. Valores D , z y E_a para los parámetros de color de la escala Hunter y calculados en el néctar de piña-guayaba-mango.

	T (°C)	L	a	b	ΔE
D (min)	75	193.53	451.57	261.70	148.58
	80	171.87	397.07	209.36	126.54
	85	157.74	359.84	178.53	114.58
	90	146.69	354.31	168.10	107.12
z (°C)		125.00	138.89	77.52	106.38
E_a (cal/g.mol)		4614.01	4166.14	7494.57	5443.59

Rao *et al* (1981), reportaron para la degradación de color en trozos de pera $E_a = 17500$ cal/g.mol. Las energías de activación que se obtuvieron se puede observar que el parámetro a fue el que menos se degradó seguido de la luminosidad, ΔE y el parámetro b . Estos

valores son bajos en comparación con los reportados por Moreno(2003), que reporta energías de activación (cal/g.mol) para $L = 14607$; $a = 25167$; $b = 5063$; $\Delta E = 29304$.

Debido a que los cambios en color fueron muy pequeños se procedió a calcular los DE_{CMC} que miden diferencias pequeñas en cambios de color, el cual indica si el cambio de color es percibido por el ojo humano. Los resultados se presentan en la tabla XII. Se observa que a medida que se incrementaron los tiempos de tratamiento los valores DE_{CMC} son mayores lo que representa la percepción del cambio en color después del tratamiento por lo que se hacen mas notables a partir de las temperaturas a 85 y 90°C.

Tabla XII. DE_{CMC} Calculadas en néctar de piña-guayaba-mango después de los tratamientos térmicos.

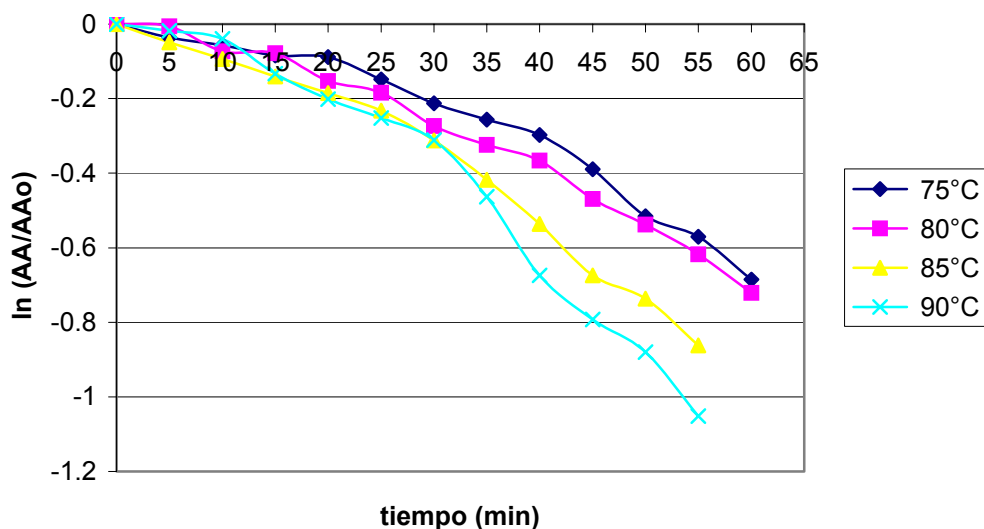
tiempo (min)	75°C	80°C	85°C	90°C
5	0.1847	0.3719	0.036	0.397
10	0.2557	0.2291	0.219	0.349
15	0.3495	0.1781	0.356	0.305
20	0.4367	0.0304	0.465	0.328
25	0.5254	0.0803	0.596	0.342
30	0.6031	0.1850	0.731	0.382
35	0.7130	0.2261	0.816	0.463
40	0.7854	0.2813	0.906	0.486
45	0.8453	0.3706	0.979	0.662
50	0.8812	0.4675	1.025	0.725
55	0.9489	0.6548	1.107	0.814
60	0.9903	0.8231	1.228	1.005

7.7 Cinética de degradación de ácido ascórbico

La pérdida de ácido ascórbico, además de sus consecuencias nutricionales, también lleva consigo (sobre todo en frutas cítricas y sus derivados) una generación de olores

indeseables y un oscurecimiento (Tatum *et al.*, 1975). Esta degradación, está en función de muchas variables , principalmente la temperatura, el pH, disponibilidad de oxígeno, los metales de transición entre otros (Badui, 1999).

La cinética de degradación de vitamina C para el néctar de piña-guayaba-mango puede seguir una cinética de primer o segundo orden. En condiciones abundantes de oxígeno



disuelto o ambientes anaeróbicos, la degradación de ácido ascórbico sigue una cinética de primer orden mientras que bajo condiciones limitadas de oxígeno sigue una cinética de segundo orden (Roberston y Samaniego, 1986). En la figura 7.5 se muestra la cinética de degradación de vitamina C del néctar a diferentes temperaturas y tiempos de tratamiento. El contenido inicial de ácido ascórbico en el néctar de piña fue de 112.23 mg/100g .

Figura 7.5 Degradación de vitamina C a diferentes temperaturas con respecto a diferentes tiempos de tratamiento.

Se observa que la degradación de la vitamina C en el néctar de piña-guayaba-mango es proporcional con respecto a los tiempos de tratamiento y temperaturas de trabajo. De todas las vitaminas, la C es la más inestable y lábil; por lo que algunos investigadores han propuesto usar su contenido residual en los alimentos como un índice de retención de nutrimentos: se considera que si resiste el procesamiento, almacenamiento, etc., quiere decir que todos los demás nutrimentos se verán poco afectados (Badui, 1999).

La biotina y la niacina se encuentran disponibles después del tratamiento térmico, como resultado de la inactivación de enzimas y agentes enlazantes. Sin embargo, la estabilidad de las vitaminas durante el tratamiento térmico varía según las características estructurales de cada una de ellas, donde la vitamina C y la tiamina resultan las más susceptibles a la degradación (Ramesh, 1999). Los valores de las constantes de velocidad de inactivación y valores D para la vitamina C se muestran en la tabla XIII.

Tabla XIII. Valores k y D para la degradación de vitamina C en néctar de Piña- guayaba-mango.

T (°C)	k (min ⁻¹)	Reportados	D (min)	Reportados
75	0.0110	0.02739*	207.48	82.30*
80	0.0121	0.03350*	190.33	66.33*
85	0.0150	0.03508*	153.53	63.83*
90	0.0171	0.03858**	134.68	58.83**

*Valores reportados por Moreno (2003).

** Valores reportado a temperaturas de 88°C.

Los valores de k en este trabajo, son menores a los reportados por Moreno (2003) , y los valores D difieren mucho tal vez por que en este trabajo se tenía la guayaba en la mezcla que es la fruta que más contenido de vitamina C tiene (de las tres utilizadas). Vieira *et al.*, (2001) citado por Moreno (2003), reporta valores de $k = 0.017 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ a 80°C para néctar de cupuaçu que es un fruto tropical por lo que este valor es semejante al reportado para el néctar de piña-guayaba-mango a 90°C .

A medida que aumenta la temperatura, los valores D tienden a disminuir y el valor de $z = 76.34 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $E_a = 7585.77 \text{ cal/g.mol}$ para la degradación de vitamina C a las temperaturas estudiadas. Las energías de activación para la degradación de ácido ascórbico en sistemas modelos, varían entre 9470 y 17200 cal/g.mol dependiendo del porcentaje de oxígeno presente en el espacio de cabeza y de las temperaturas de trabajo (Eison-Perchonok y Downes, 1982). Rao *et al.*, (1981) menciona que los valores D se pueden ver afectados por el contenido de oxígeno.

La efectividad promedio de los tiempos de subida (CUT) para el néctar de piña-guayaba-mango fue de 53.82% . De dicha efectividad se corrigieron los valores k , D , z y E_a para la degradación de vitamina C en néctar de piña-guayaba-mango que se muestran en la tabla XIV.

Tabla XIV. Valores k , D , z y E_a corregidos en néctar de piña-guayaba-mango para la degradación de vitamina C.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	$K \text{ (min}^{-1}\text{)}$	$D \text{ (min)}$
------------------------------------	-------------------------------	-------------------

75	0.01123	205.01
80	0.01225	187.97
85	0.01522	151.29
90	0.01723	133.64
z	76.92 °C	
Ea	7533.51 cal/g.mol	

7.8 Cinética de inactivación térmica de Pectinesterasa

En el néctar de piña-guayaba-mango la inactivación de la enzima pectinesterasa siguió una cinética de primer orden. Dicha cinética coincide con la reportada por Argaiiz (1994) y Moreno (2003) para néctar de papaya y néctar de mango-piña respectivamente. En la figura 7.6 se muestra la inactivación de la enzima pectinesterasa para el néctar de piña-guayaba-mango. Se puede observar que la inactivación de PE es mayor a medida que aumentan las temperaturas y tiempos de trabajo. Nath y Ranganna (1981) mencionan que la inactivación enzimática de pectinesterasa por tratamiento térmico es dependiente del valor del pH; el tiempo de procesamiento para la inactivación de la PE se incrementa a medida que el valor de pH disminuye.

A partir de los datos de inactivación se calcularon los valores D, z y Ea.

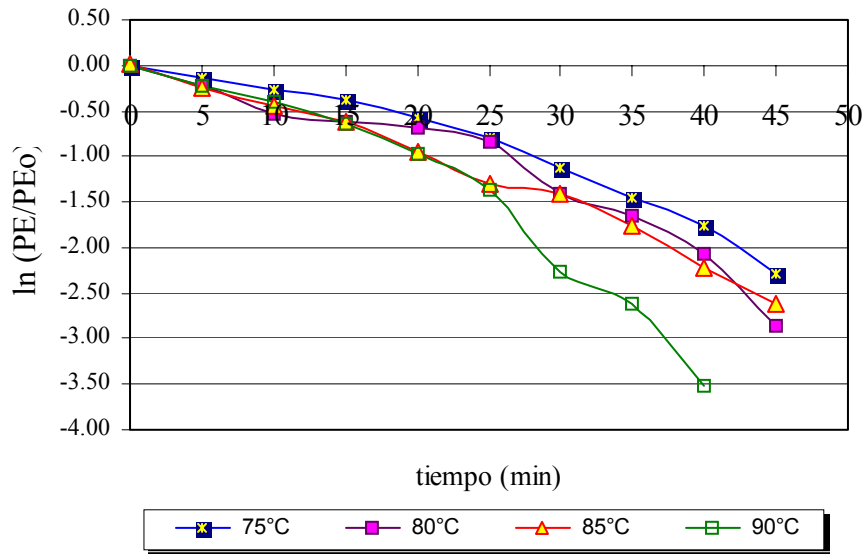


Figura 7.6 Inactivación térmica de pectinesterasa en néctar de piña-guayaba-mango a diferentes temperaturas. Donde PE_0 es la actividad enzimática inicial y PE es la actividad de la enzima después del tratamiento.

En la tabla XV se muestran los resultados de los parámetros k y D para la inactivación de la enzima pectinesterasa en néctar de piña-guayaba-mango ($pH = 4.17$, 14.6 °Brix a las diferentes temperaturas de tratamiento. Estos valores son relativamente bajos, comparados con los reportados por Moreno (2003) para néctar de mango-piña ($pH = 3.29$, 12.2 °Brix).

Tabla XV. Valores k y D para la inactivación de la enzima pectinesterasa en néctar de piña- guayaba-mango.

T (°C)	k (min^{-1})	Reportados	D	Reportados
75	0.0488	0.0846*	47.19	27.21*
80	0.0566	0.1269*	40.69	18.13*
85	0.0676	0.1429*	34.07	13.11*
90	0.0898	0.1406**	25.65	10.80**

* Valores reportados por Moreno (2003).

** Valores reportado a temperaturas de 88°C.

Argaiz y López-Malo (1995) reportan valores de constantes de inactivación para néctar de papaya de 0.0648 a 0.2988 min⁻¹ en un rango de temperaturas entre 75 y 85 °C. Estos valores son similares (a temperaturas bajas) a los reportados para este trabajo y los valores reportados por Moreno (2003) para un néctar de mango-piña difirieron mucho. Esto pudo deberse a las características fisicoquímicas de los diferentes productos empleados, así como al efecto protector que tiene la sacarosa en el néctar como inhibidor no competitivo de la PE, que al ocupar el sitio activo, estabiliza la estructura de la enzima e incrementa su resistencia a la inactivación (Chang *et al.*, Argaiz, 1994).

El valor de z se obtuvo a partir de los valores D obtenidos para la inactivación de PE y fue de 57.47 °C este valor se encuentra por arriba del reportado por Argaiz y López-Malo (1995) para néctar de papaya $z = 15^{\circ}\text{C}$ y por Moreno (2003) $z = 38.84^{\circ}\text{C}$ para néctar de mango-piña. Estas variaciones se pueden deber a la presencia de isoenzimas en el mango con diferentes estabilidades térmicas (Azza *et al.*, 1995), al alto contenido de sólidos solubles que brindan un efecto protector sobre la enzima (Marshall *et al.*, 1985), a las características propias de cada alimento evaluado así como al método con que se determinó la actividad enzimática..

A partir de las constantes de la velocidad de inactivación se calculó la $E_a = 10064$ cal/g.mol. este valor se encuentra por abajo al compararlo con la energía de activación que

reporta Argaiz (1994) $E_a = 37800$ cal/g.mol para un néctar de papaya al igual que Moreno (203) para un néctar de mango-piña $E_a = 14571$ cal/g.mol.

La efectividad promedio de los tiempos de subida (CUT) fue de 65.70 % para el néctar de piña-guayaba-mango. Ball y Olson (1957) establecieron que sólo el 42% del tiempo de subida contribuye a la letalidad durante el tratamiento térmico. De la efectividad se obtuvieron los valores D y z corregidos (tabla XVI).

Tabla XVI. Valores k, D, z y E_a corregidos para la inactivación térmica de pectinesterasa en néctar piña-guayaba-mango.

Temperatura(°C)	D (min)
75	44.42
80	37.89
85	31.35
90	24.25
z	57.47°C

7.9 Tiempo de inactivación térmica (TIT) de la enzima pectinesterasa

Después de aplicar los tratamientos mostrados en la tabla XVII se determinó el logaritmo del tiempo al cual se logró la inactivación de la enzima PE en el néctar de piña-guayaba-mango a las diferentes temperaturas de trabajo que se presenta en la figura 7.7

para la cual, los valores + representan actividad residual de la pectinesterasa en el néctar y los valores – representan actividad nula por parte de dicha enzima.

Los valores utilizados para la inactivación térmica de la enzima en el néctar de piña-guayaba-mango fueron de 1.5 a 3D. Nath y Ranganna (1980) reportaron valores de 2.19 y 3D para inactivación total de la enzima pectinesterasa en rebanadas de mango a un pH de 3.6.

Tabla XVII. Resultados de los tratamientos térmicos aplicados al néctar de piña-guayaba-mango para determinar TIT de la enzima PE.

Temperatura (°C)	tiempo (min)	Viscosidad (Cp)	actividad enzimática
100*	20.00	13.33	*
75	70.79	14.10	+
75	82.58	14.20	+
75	94.38	14.07	+
75	117.98	11.27	-
75	141.57	12.53	-
80	60.83	14.13	+
80	70.96	13.40	+
80	81.10	13.20	-
80	101.38	12.00	-
80	121.65	11.53	-
85	51.11	13.60	+
85	59.62	12.27	-
85	68.14	11.07	-
85	85.18	11.07	-
85	102.21	11.00	-
90	38.48	13.93	+
90	44.89	13.40	-
90	51.30	12.87	-

90	64.13	10.87	-
90	76.95	10.60	-

*Control

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla XVII la inactivación térmica de la enzima en el néctar de piña-guayaba-mango a 75, 80, 85 y 90°C se efectuó a los minutos 117.98, 81.1, 59.62 y 44.89 respectivamente. Se observa, que al aumentar las temperaturas, disminuyen los tiempos de tratamiento. Para la determinación de los tiempos de inactivación termica de la PE se relacionó de manera directa con los incrementos en la viscosidad de la muestra en comparación con el control sin actividad enzimática.

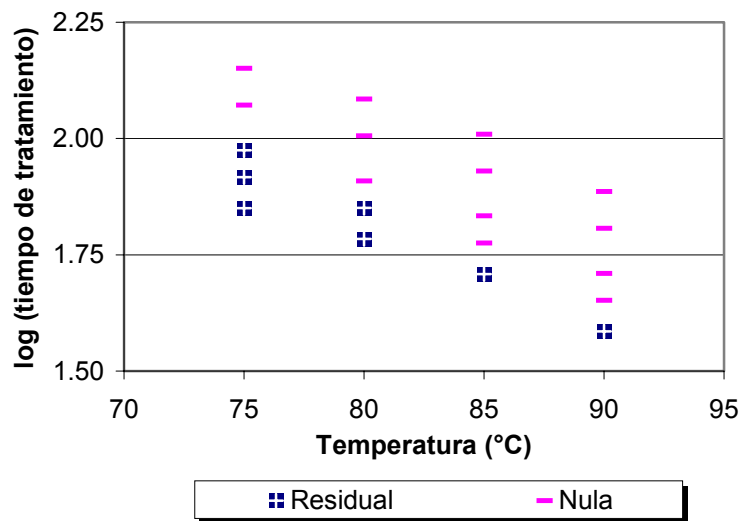


Figura 7.7 Tiempos de Inactivación térmica de la enzima pectinesterasa en néctar de piña-guayaba-mango.

Con los tiempos máximos a los que se detectó la presencia de la enzima y los mínimos a los que se inactivó fue determinado el valor de z para la inactivación termica de PE en el néctar de piña-guayaba-mango. El valor z en el néctar fue de 37.04°C y una $F_{149.88}^{37.04} = 1$ min;

dichos valores se encontraron por arriba de los reportados por Nath y Ranganna (1983, 1981) para néctar de mango y papaya; $z = 10.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $z = 15.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente y es similar a los reportados por estos autores para guayaba en jarabe de sacarosa $z = 38.04 \text{ }^{\circ}\text{C}$

La efectividad promedio de los tiempos de subida (CUT) fue de 57.98 % . Moreno (2003) reporta una efectividad de 88.75% para néctar de mango-piña por lo que es una efectividad muy elevada comparada con la encontrada para este trabajo.

En el apéndice F se muestran los valores D corregidos y sin corregir para los tiempos de inactivación térmica de PE.

La energía de activación (E_a) para el tiempo de inactivación termica (TIT) de la pectinesterasa fue de 15822.48 cal/g.mol. Atkins *et al* (1956) reportaron que la energía de activación de la enzima pectinesterasa en jugo de naranja disminuía al aumentar el contenido de sólidos solubles

7.10 Cinética de desarrollo de primer cambio en sabor.

El desarrollo de primer cambio en sabor en el néctar de piña-guayaba-mango fue analizado sensorialmente mediante la aplicación de una prueba triangular a jueces no entrenados. Los tratamientos aplicados al néctar se muestran en la tabla XIX. Los tiempos de tratamiento empleados se realizaron tomando como base el parámetro D para la enzima pectinesterasa, aplicando tiempos equivalentes de 1.5 a 3 D.

Tabla XIX. Tratamientos aplicados al néctar de piña-guayaba-mango para la cinética de desarrollo de primer cambio en sabor.

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	log (tiempo)	Detección
75	141.57	2.1510	+
75	117.98	2.0718	+
75	94.38	1.9749	+
75	82.58	1.9169	-
75	70.79	1.8499	-
80	121.65	2.0851	+
80	101.38	2.0059	+
80	81.10	1.9090	+
80	70.96	1.8510	-
80	60.83	1.7841	-
85	102.21	2.0095	+
85	85.18	1.9303	+
85	68.14	1.8334	-
85	59.62	1.7754	-
85	51.11	1.7085	-
90	76.95	1.8862	+
90	64.13	1.8070	+
90	51.30	1.7101	-
90	44.89	1.6521	-
90	38.48	1.5852	-

En la figura 7.8 se muestra el desarrollo del primer cambio en sabor, FCF para el néctar de piña-guayaba-mango. Para cada temperatura se obtuvieron dos puntos que corresponden al tiempo mínimo de residencia en el cual se detecta el primer cambio en sabor y el tiempo máximo en el que no se detecta ningún cambio sensorial.

Los valores D y z se obtuvieron de regresionar los datos obtenidos como un punto medio entre una prueba positiva y una prueba negativa. Se observó que a medida que se incrementaban las temperaturas el tiempo requerido para provocar el primer cambio en sabor era menor. Ramesh (1999) menciona que la formación de sabores extraños a lo largo del tratamiento térmico puede ser el resultado de la formación de compuestos volátiles debido a reacciones de Maillard ya que éstas pueden ocurrir a lo largo del calentamiento o

almacenamiento prolongado que se ve influenciado por la actividad de agua y pH altos ya que la velocidad de reacción se incrementa.

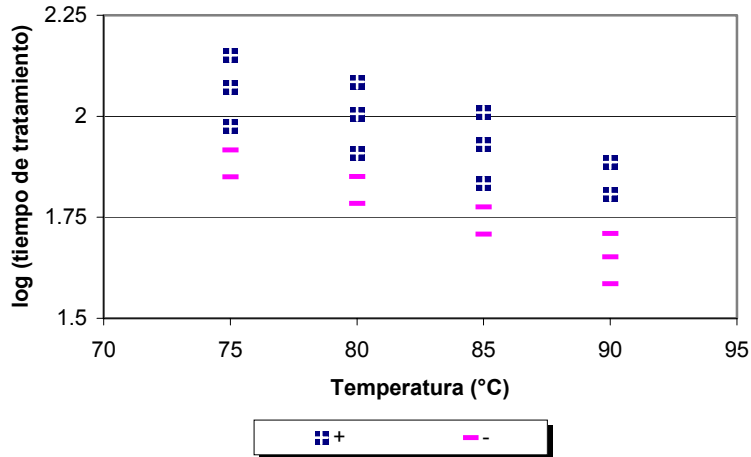


Figura 7.8 Primer cambio en sabor (FCF) para néctar de piña-guayaba-mango.

Ramesh (1999) reporta que durante el calentamiento de alimentos ricos en carotenoides hay un cambio en el sabor debido a que se forman compuestos extraños que son el resultado de la degradación estos terpenos o furanos α -terpineol o furfural. En la tabla XX se muestran los valores D y z para el primer cambio en sabor (FCF) en el néctar de piña-guayaba-mango.

Tabla XX. Valores D, z y Ea corregidos y sin corregir para el primer cambio en sabor (FCF) en néctar de piña-guayaba-mango.

Temperatura (°C)	D (min) Sin corregir	D (min) Corregidos
75	88.48	85.1517
80	76.03	72.8863
85	76.66	60.9329
90	57.71	55.9484
z	78.13 °C	80 °C
Ea	7321.90 cal/g.mol	-

El valor de z es alto en comparación con los reportados por Moreno (2003) $z = 6.72^{\circ}\text{C}$ para néctar de mango piña y Argaiz y López-Malo para néctar de papaya y mango $z = 15.8$ y 11.1°C , respectivamente.

La efectividad promedio de los tiempos de subida (CUT) fue de 72.84% por lo que este valor es alto comparado con el reportado por Moreno (2003) para néctar de mango-piña que fue de 51.66%.

7.11 Optimización de los procesos de pasterización

Para la optimización del proceso se tomaron en cuenta los resultados obtenidos de la cinética de degradación de ácido ascórbico, el tiempo de inactivación térmica de la pectinesterasa (TIT) y el desarrollo del primer cambio en sabor (FCF) en el néctar de piña-guayaba-mango; graficando los logaritmos de los tiempos equivalentes a cada uno de estos parámetros contra la temperatura, y con el propósito de ofrecer un néctar con una alta calidad organoléptica y nutritiva además de ser estable microbiológica y enzimáticamente. Se puede optimizar el proceso eligiendo diferentes combinaciones tiempo-Temperatura.

Cabe mencionar, que con los tratamientos térmicos requeridos para inactivar la enzima pectinesterasa es posible tener un producto microbiológicamente seguro ya que los microorganismos de interés en alimentos de alta acidez como bacterias ácido lácticas, mohos, levaduras; requieren tratamientos térmicos menores a los de las enzimas para ser inactivados (Toledo, 1980). Las diferencias en la dependencia en la temperatura entre inactivación microbiológica, enzimática, química y sensorial implican que es posible la optimización del proceso para la retención de los factores de calidad.

Como se puede observar en la figura 7.9, las cinéticas de degradación de los parámetros analizados en el néctar de piña-guayaba-mango permite la optimización. Se observa que la inactivación enzimática TIT presenta una mayor pendiente. Las curvas para la vitamina C y desarrollo de primer cambio en sabor (FCF) presentan valores muy cercanos con pendientes similares; sin embargo, la curva de inactivación termica de pectinesterasa queda por debajo de las curvas de degradación de vitamina C y de primer cambio en sabor lo que nos permite que el proceso de pasterización se pueda optimizar.

La expresión (1) es la ecuación obtenida para los tiempos de inactivación térmica de la enzima PE en el néctar de piña-guayaba-mango. Esta expresión nos indica el tiempo necesario a una temperatura determinada para inactivar la enzima PE que en el caso de este trabajo es el factor de calidad más importante a controlar en el néctar de piña-guayaba-mango ya que las demás combinaciones quedan por debajo de los tiempos y temperaturas a los cuales se desarrollaría el primer cambio en sabor en dicho néctar.

$$\text{Log D} = -0.027 x + 4.047 \quad (1)$$

Para un tratamiento adecuado del néctar, donde se garantice la inactivación enzimática y sin desarrollo de primer cambio en sabor y reteniendo el 55.45 % de vitamina C se debe tratar a temperaturas mayores de 90°C por un tiempo no mayor de tratamiento de 41.4 min. Moreno (2003) reporta para néctar de mango-piña una temperatura no mayor de 87.5 °C por un tiempo no mayor de 28.97 min.

Cabe mencionar que en este trabajo se obtienen tiempos y temperaturas altos debido a que la guayaba presente en el néctar contiene muchos sólidos y estos brindan un efecto protector para la inactivación de la enzima pectinesterasa por lo que se requiere de tiempos mayores para dicha inactivación y también a la presencia de isoenzimas presentes en los productos las cuales son una misma enzima que tienen como función, catalizar la misma reacción pero que presentan diversas afinidades por el sustrato, velocidades de reacción y resistencia a la temperatura (Marshall et al., 1985).

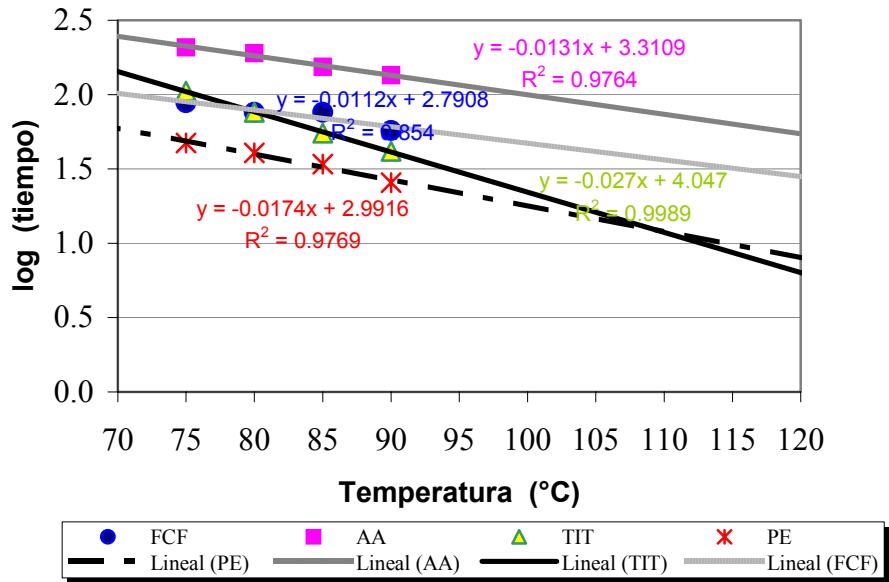


Figura 7.9 Optimización del tratamiento térmico para néctar de piña-guayaba-mango.