

CAPITULO VII

RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Obtención de la pulpa

Se procesaron 60 kg de fruta agregando 20 lt de agua por un periodo de 24 horas con el objeto de hidratarla y con ello mejorar el proceso de pulpeado, facilitándose la separación de las partes no comestibles de la fruta, teniendo como resultado un menor tiempo en el pulpeado y una mayor facilidad en el equipo para obtener la pulpa del tamarindo.

Los rendimientos obtenidos de la fruta durante la extracción de la pulpa del tamarindo se muestran en la tabla 7.1

Tabla 7.1 Rendimiento del tamarindo

60 kg de fruta		
Pulpa (kg)	28	35%
Semilla (kg)	17.2	30%
Cáscara (kg)	10.5	18%
Otros residuos	9.6	16%

Comparativamente con lo reportado por la National Academy of Sciences (1979) donde la composición del tamarindo básicamente esta dada por el 30% de cáscara, 40% de pulpa y un 40% restante por la semilla, los rendimientos obtenidos muestran un menor porcentaje de pulpa lo que pudiera deberse al agua adicionada que permitió una mejor separación de los componentes de la fruta, en cambio se tiene porcentajes similares de la cáscara y semilla.

Hernández (1980) reportó el rendimiento del tamarindo con un periodo de 35 semanas de crecimiento, después al momento del corte o cosecha, obtuvo rendimientos de 50.2% de pulpa, 28% de semilla, 19.2% de cáscara y finalmente un 2.54% de fibra.

Hernández (1980) también evaluó los cambios poscosecha en los rendimientos de los componentes del fruto, efectuando muestreos cada 2 días durante 2 semanas posteriores al corte, los resultados indican que en la pulpa se registró una disminución del porcentaje, donde inicialmente se obtuvo un 50.2% de pulpa, al final del periodo obtuvo

un 40.5%, perdiéndose a una velocidad de 0.74 g de pulpa/100 g de fruta por día. Por otra parte, la cáscara tuvo un incremento en el rendimiento, el cual inició con un 19.2% finalizando con el 22.9%, incrementándose a una velocidad de 0.28 g de cáscara/100 g de fruta por día, por su parte la semilla tuvo un incremento del 28% al 34.2% a una velocidad de 0.47 g de semilla/100 g de fruta por día.

Comparativamente con estos datos se puede cerciorar que el fruto adquirido no tenía más de 2 semanas de corte, ya que los datos de pérdida de pulpa y ganancia en peso de la semilla y cáscara confirman la madurez óptima del fruto para ser procesado.

7.2 Caracterización de la pulpa

La tabla 7.2 muestra los valores obtenidos en la caracterización de la pulpa de tamarindo recién obtenida en comparación con la pulpa descongelada, (descongelación llevada a cabo en un refrigerador durante aproximadamente 24 horas registrando el aparato una temperatura de 5°C), como puede verse no muestran cambios que se pudieran reflejar en la estandarización y preparación de los productos de tamarindo en los que se usa como materia prima la pulpa.

Tabla 7.2 Caracterización de la pulpa de tamarindo recién obtenida y descongelada

Característica	Pulpa de tamarindo	Pulpa de tamarindo descongelada
pH	2.60 ± 0.00	2.65 ± 0.05
Sólidos solubles	17.5 ± 0.0	18.1 ± 0.0
Acidez Titulable*	3.12 ± 0.02	3.33 ± 0.03
Color		
L	34.05 ± 0.04	34.29 ± 0.026
a	8.52 ± 0.02	8.56 ± 0.04
b	15.60 ± 0.05	15.5 ± 0.03

* Expresada como % de ácido tartárico

La descongelación de la pulpa no produjo cambios considerables en sus características fisicoquímicas. Al compararlas (Tabla 7.2) se observa que la pulpa de tamarindo descongelada conserva las características de color evaluadas similar a la pulpa recién elaborada, en cambio el pH y acidez muestran un ligero aumento pero como el valor de pH se encuentra muy por debajo de 4 no se considera un aumento crítico, el cambio que se produjo en el % de acidez y debido a los altos porcentajes de azúcares y ácidos orgánicos que se reportan en el producto se considera un cambio imperceptible y normal para este tipo de productos (Hernández, 1980).

Hernández (1980) menciona que el % de acidez en la pulpa de tamarindo puede sufrir algunas variaciones en las cuales pudiera darse algunos pequeños incrementos debido a la actividad metabólica del fruto, ya que probablemente es una de las reacciones más importantes y ocurrentes en el fruto como medio de conservación por tiempos más prolongados que la mayorías de las frutas tropicales.

7.3 Análisis microbiológico de la pulpa de tamarindo

La tabla 7.3 muestra los resultados obtenidos del análisis microbiológico efectuado a la pulpa de tamarindo.

Tabla 7.3 Análisis microbiológico de la pulpa de tamarindo descongelada

Mesófilos Aerobios	Mohos y Levaduras
13, 000	90, 000

En general los valores obtenidos para la flora de nativa de la pulpa de tamarindo se considera normales, encontrándose diferentes variedades de levaduras fermentativas tales como algunas especies de *Saccharomyces*, *Debaromyces*, algunos hongos fermentativos que son resistentes al bajo pH que se registra en el tamarindo (Santiesteban, 2003).

7.4 Formulación y preparación del puré y néctar

El puré utilizado se preparó adicionando agua a la pulpa, la cantidad adicionada fue de 1 parte de agua por 2 de pulpa, más el agua adicionada del remojo quedó una relación cercana a 1 lt de agua por cada kg de pulpa. Para formular el néctar se realizó un análisis de las características fisicoquímicas de las bebidas de tamarindo existentes en el mercado nacional (Tabla 7.4), evaluando parámetros tales como pH, % acidez y °Brix por su importancia para formular correctamente el néctar de tamarindo.

Tabla 7.4 Caracterización de las bebidas de tamarindo

Característica	Sonrisa Premium	Bida	Boing
pH	3.66 ± 0.07	3.40 ± 0.02	3.31 ± 0.01
Sólidos solubles	11.83 ± 0.05	11.76 ± 0.05	11.16 ± 0.05
Acidez Titulable*	0.34 ± 0.02	0.33 ± 0.03	0.32 ± 0.02

* Expresada como % de ácido tartárico

El Ministerio de fomento industria y comercio de Nicaragua (MIFIC) en su norma NTON-03 043-03 (Norma de Especificaciones de néctares, jugos y bebidas no carbonatadas) menciona los parámetros y características deseables para la elaboración de un néctar de tamarindo (Tabla 7.5).

Tabla 7.5 Estándares para la preparación de un néctar de tamarindo

Característica	Valores
°Brix	12-14 máx.
pH	3.6 máx.
Acidez titulable*	0.65 g/100 ml

* Expresada como % de ácido tartárico

Además de que debe de presentar las características de la fruta (color, olor y sabor), y libre de conservadores y colorantes.

Los datos anteriores sirvieron como base para formular el néctar de tamarindo (Tablas 7.4 y 7.5), para ello se hicieron los cálculos respectivos conforme al cuadro de Pearson, y a las características iniciales de la pulpa descongelada de tamarindo, cabe destacar que el sistema o cuadro de Pearson es precisamente utilizado para la mezcla de jarabes para el ajuste de los sólidos solubles °Brix en bebidas frutales.

Finalmente se estipula que el néctar a prepararse tendrá una concentración de sólidos solubles (°Brix) de 12, por lo que para obtener dichos valores es necesario mezclar 2.61 partes de pulpa por 6.1 de jarabe de sacarosa (ajustado a 10°Brix, Apéndice A).

Las características del puré y néctar de tamarindo se muestran en la siguiente tabla 7.6

Tabla 7.6 Características del puré y néctar de tamarindo

Característica	Puré de tamarindo	Néctar de tamarindo
pH	2.6 ± 0.00	3.10 ± 0.02
Sólidos solubles	17.5 ± 0.00	11.6 ± 0.02
Acidez Titulable*	2.02 ± 0.02	0.88 ± 0.05
Vitamina C (mg/100g)	3.15 ± 0.08	1.73 ± 0.07
UPE Unidades de PE/ml	0.083 ± 0.02	0.040 ± 0.038
Color		
L	30.54 ± 0.03	23.89 ± 0.03
a	7.46 ± 0.036	3.63 ± 0.126
b	13.91 ± 0.06	10.27 ± 0.040

* Expresada como % de ácido tartárico

Las cantidades están calculadas para tener una porción de pulpa del 30% que es la que se estipula en las normas mexicanas y en la comisión del Codex Alimentarius para la preparación de néctar de frutas con materias primas de acidez elevada.

Los productos del tamarindo obtenidos fueron caracterizados fisicoquímicamente (Tabla 7.6), incluyendo además valores de otros parámetros tales como nutricionales, de color y las UPE (Unidades de Pectinesterasa).

En la tabla 7.6 se muestran las características fisicoquímicas, nutricionales y el valor de actividad enzimática para la PE del puré y néctar de tamarindo, como era de esperarse se observa una disminución de los °Brix, del porcentaje de acidez, pH, y contenido de vitamina C. Este último se encuentra muy por debajo de otras bebidas frutales, debido principalmente a que el tamarindo con el que se trabaja y la fruta en general es muy pobre en este nutrimento (Hernández, 1980), además, se observó que existió también una reducción en lo que respecta a la actividad de la pectinesterasa como resultado de la adición del jarabe de sacarosa.

La caracterización del néctar de tamarindo obtenido (Tabla 7.6) muestra que el valor de pH continúa por debajo de 4 siendo importante para definir el proceso de tratamiento térmico adecuado que en este caso es una pasteurización sin la necesidad de usar altas temperaturas (esterilización térmica 121°C), el valor de acidez es mayor al reportado para el néctar de tamarindo elaborado en otros países (Nicaragua) (Tabla 7.5).

Hernández (1980) reportó que el valor de pH se mantiene constante en el tamarindo al muestrearlo diariamente durante 2 semanas en un fruto cosechado después de 35 semanas de crecimiento, reportando que no hubo cambio significativo en este parámetro, manteniéndose en un rango que osciló de 2.9 a 3, en sus estudios menciona que el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) en la pulpa de tamarindo se ve drásticamente disminuido ya que inmediatamente después del corte el fruto contenía 15.3 mg/100 g de pulpa, posteriormente a las 2 semanas de almacenamiento se registro 4.76 mg de ácido

ascórbico/100 g de pulpa, mencionando también que en los primeros 3 días después del corte es el periodo donde se registra la mayor pérdida del contenido de la vitamina.

No se encontraron reportes sobre la actividad de la pectinesterasa en puré y néctar de tamarindo, pero en otras frutas se tienen reportes, Moreno (2003), Argaiiz y López-Malo (1995) reportaron respectivamente que en puré de mango ataulfo y puré de mango manila un contenido de pectinesterasa de 0.115 UPE/ml y 0.045 UPE/ml, comparativamente se tiene que el contenido de pectinesterasa en tamarindo es muy similar al puré de mango de la variedad ataulfo.

7.5 Penetración de calor en puré y néctar de tamarindo

La transferencia de calor se define como la transmisión de energía desde una región a otra debido al gradiente térmico que existe entre ambas. Se habla básicamente de 3 mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, siendo los primeros dos los principales que intervienen en el tratamiento térmico de alimentos (Geankoplis, 1998).

La transmisión de calor por conducción se da por el contacto e intercambio de la energía entre las moléculas sin desplazamiento de las mismas, mecanismo principal en alimentos sólidos, semisólidos o muy viscosos, en contraste la transmisión convectiva se da por el efecto de mezcla y movimiento del líquido, provocando un flujo circulatorio donde las partículas chocan con las paredes del envase provocando un gradiente térmico que hace que las partículas ganen energía y temperatura de manera mas rápida (Rao et al., 1988).

El mecanismo de transferencia de calor por conducción es mas lento que el convectivo dado el movimiento provocado por las partículas del alimento aunado a los patrones de flujo que rigen el movimiento del alimento durante su tratamiento térmico (Datta y Teixeira, 1988).

La transferencia de calor en alimentos como el puré de tamarindo que es considerado como un producto semisólido, se lleva a cabo por medio de una combinación de los mecanismos conductivos y convectivos, predominando el primero, debido a la consistencia y viscosidad del alimento, mientras que en el néctar de tamarindo y debido a la adición de agua, que reduce significativamente la consistencia y viscosidad, predomina el mecanismo convectivo (Datta y Teixeira, 1988).

Como era de esperarse los tiempos requeridos para alcanzar la temperatura de trabajo CUT fueron mayores en el puré que en el néctar (Figuras 7.1 y 7.2), donde en el primero oscilaron entre 4.33 a 7.15 min, y para el segundo 3.55 a 5.85 min, en general los tiempo de subida se consideran largos, ello principalmente a que los productos de tamarindo son relativamente viscosos incrementando sustancialmente el tiempo de subida, las efectividades para ambos productos por lo tanto fueron bajas y oscilaron entre 40 y 65%.

Moreno (2003) reporta tiempos de subida (CUT) para puré de mango-piña de entre 2 y 4 min, y para el néctar de 1 a 2.5 min, tiempos más pequeños que los obtenidos para los productos de tamarindo, debido precisamente a la menor consistencia y viscosidad que muestran los productos de frutas del mango y la piña respecto a los productos de tamarindo.

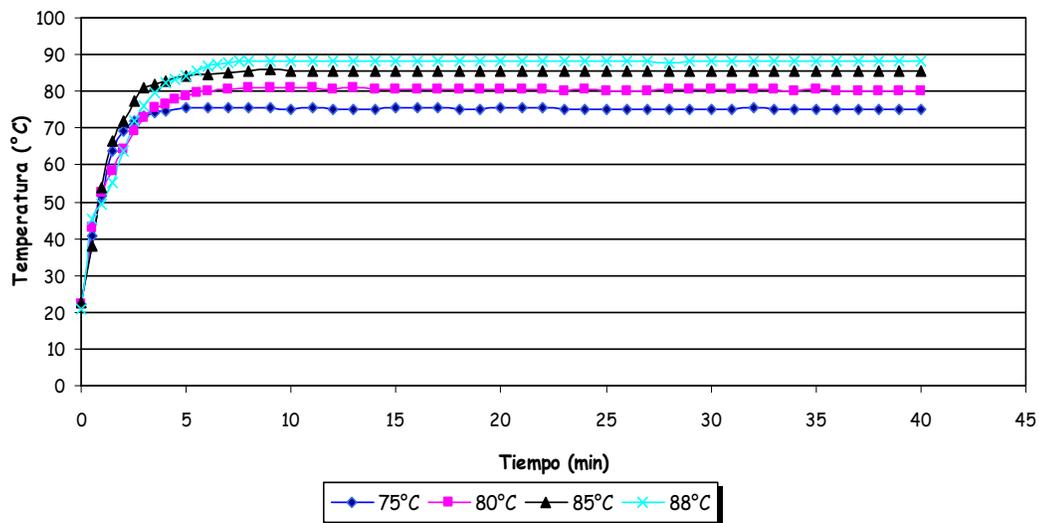


Figura 7.1 Curva de penetración de calor para puré de tamarindo

En la figura 7.1 se observa que entre mayor sea la temperatura de trabajo en el puré mayor es el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de trabajo deseada (CUT) sobre todo en las temperaturas más altas, en cambio para el néctar los tiempos se acortan considerablemente (Figura 7.2), las diferencias entre los tiempos necesarios para alcanzar las temperaturas, en el néctar y puré se explican por los fenómenos de transferencia de calor que ocurren y que fueron descritos para cada uno de los productos con anterioridad, aunado a las condiciones del baño utilizado el cual requería de mucho tiempo para alcanzar las temperaturas por arriba de 85°C, por lo que el continuo destape del baño para obtener las muestras permitía pequeñas variaciones en la temperatura el aparato.

Rodrigo et al. (1980a) menciona que la transferencia de calor por conducción para un alimento es lenta y el producto, sobre todo el que está junto a las paredes, sufre intensamente la degradación del calor, en la convección la transferencia de calor es mucho más rápida y en consecuencia el alimento sufre una menor degradación por el efecto de la temperatura.

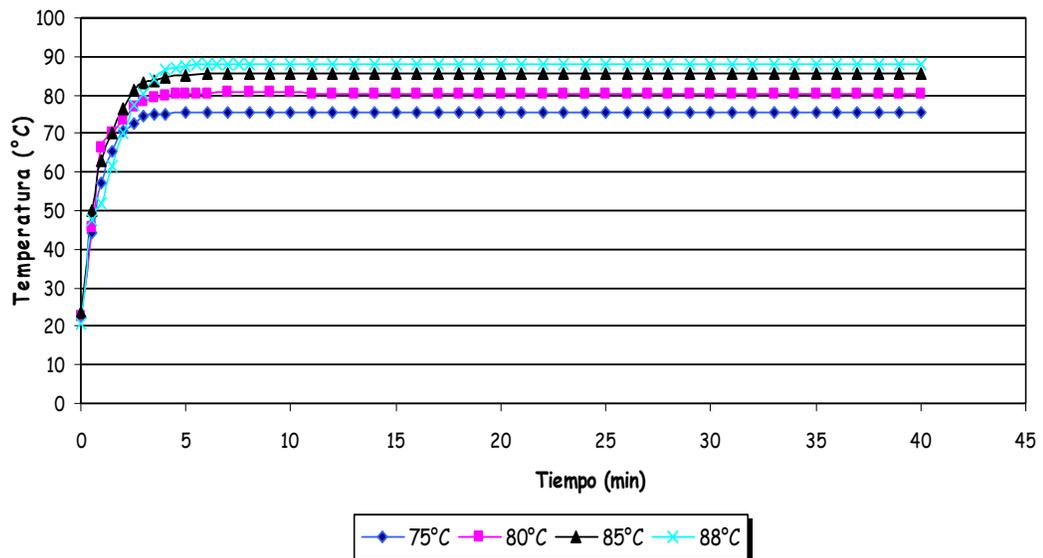


Figura 7.2 Curva de penetración de calor para néctar de tamarindo

La figura 7.2 para el néctar muestra la misma tendencia que en el puré que entre mayor sea la temperatura de trabajo mayor es el tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada sobre todo en las temperaturas más altas 85 y 88° C, aunque a diferencia del puré los tiempos se acortan considerablemente, además de no existir tanta diferencia entre el tiempo necesario para alcanzar la temperatura más baja y más baja.

Para confirmar el mecanismo de transferencia de calor predominante durante el calentamiento de los productos de tamarindo, se elaboró una grafica relacionando el log del incremento de la temperatura ($T_{referencia}$ y T_i) vs el tiempo, las tendencias que siguen los puntos muestran si el mecanismo predominante es el convectivo o conductivo para el primero de ellos se debe de observar al inicio una línea recta, en contraste si es conductivo al comienzo de la gráfica se observa una pequeña curva debido al periodo de rezago (Welti, 2004).

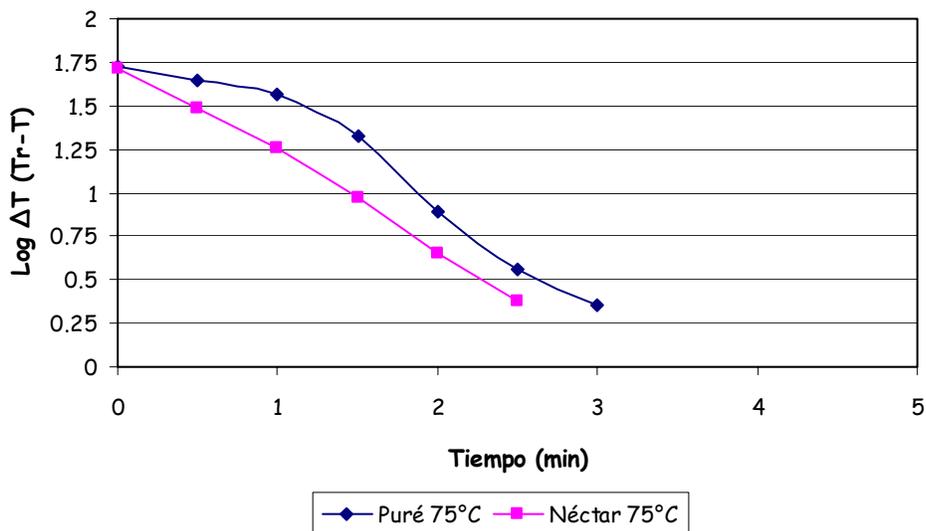


Figura 7.3 Mecanismos predominantes en la transferencia de calor en los productos de tamarindo a 75° C

La gráfica sobre el mecanismo de transferencia de calor predominante muestra que en efecto el mecanismo predominante durante el calentamiento de los productos a 75°C

(Figura 7.3) y 80°C (Figura 7.4) es la convección para el néctar y la conducción para el puré, en general se observa este comportamiento para todas las demás temperaturas de trabajo.

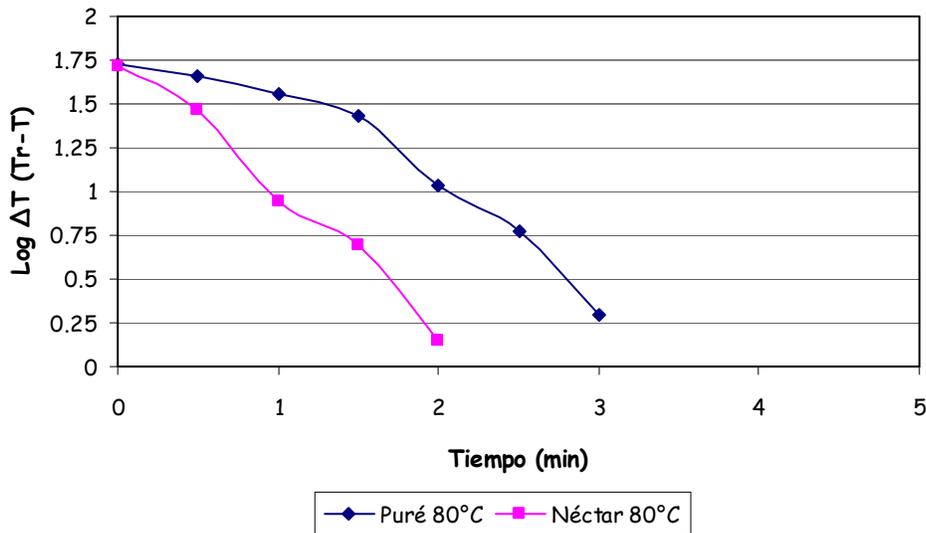


Figura 7.4 Mecanismos predominantes en la transferencia de calor en los productos de tamarindo a 80° C

En el apéndice B se muestran las gráficas correspondientes a 85 y 88° C.

7.6 Degradación del color

Durante el tratamiento térmico del puré y néctar de tamarindo, no se observaron visualmente cambios en el color en ninguna de las muestras a las diferentes temperaturas y tiempos de tratamiento evaluados. Al determinar los parámetros de color L, a y b para los productos de tamarindo que se pueden observar en las figuras 7.5, 7.6 y 7.7, para el néctar y en el Apéndice E se aprecia y corrobora que los valores de los parámetros de color para estos productos permanecen constantes e incluso si se les compara con las muestras recién obtenidas de puré y néctar (Tabla 7.6), donde solamente se aprecian muy pequeños cambios en los valores de los parámetros, pero no representan ninguna tendencia hacia el vire o degradación del color en ambos productos.

Para confirmar los resultados obtenidos, respecto a los pequeñas variaciones obtenidas en los parámetros L, a y b de color, se determinaron los valores para la prueba ΔE_{CMC} que permite calcular pequeñas diferencias en cambios de color, indicando además si el cambio es percibido por el ojo humano dado un valor de referencia de 1.56, los resultados se muestran en la tabla 7.7 para el puré y en la tabla 7.8 para el néctar.

Los resultados de la prueba ΔE_{CMC} expresan que en el puré al no registrarse ningún valor por arriba de 1.56, que es el valor de referencia que representa que no existe un cambio perceptible para el ojo humano de las pequeñas variaciones que se presentaron en los parámetros del color comparado con la muestra estándar o muestra al tiempo cero, lo que demuestra que en efecto no se tiene variación alguna en el color del puré. En lo que respecta al néctar, se observa que solamente 3 valores situados cada uno en las 3 últimas temperaturas de trabajo supera el valor de referencia, pero que no muestran ninguna referencia sobre los demás valores obtenidos, por lo que se pudiera concluir que esos 3 valores obtenidos por arriba del valor de referencia no son significativos debido a que se presentan de manera aleatoria no siguiendo alguna tendencia sobre el resto de los valores.

Por otro lado, se carece de reportes bibliográficos sobre este tipo de trabajo experimental, por lo que no se encontró datos o trabajos publicados a manera comparativa con lo realizado en la presente investigación.

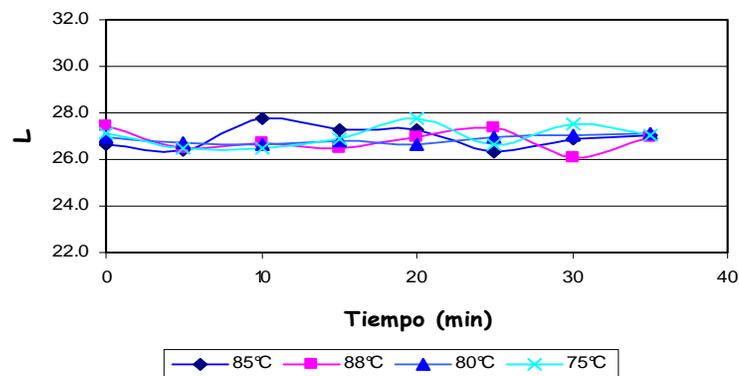


Figura 7.5 Valores de luminosidad en puré de tamarindo

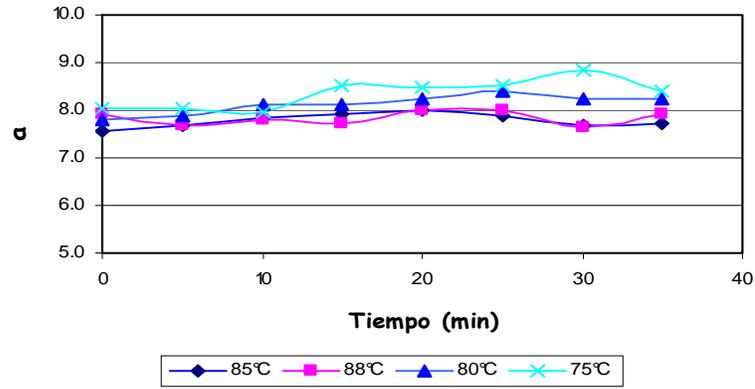


Figura 7.6 Valores del parámetro a en puré de tamarindo

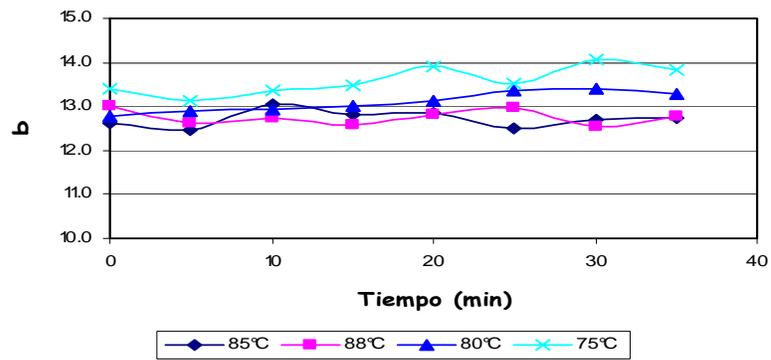


Figura 7.7 Valores del parámetro b en puré de tamarindo

Tabla 7.7 Valores de ΔE_{CMC} para el puré de tamarindo

Tiempo (min)	75°C	80°C	85°C	88°C
5	0.65	0.24	0.33	1.04
10	0.62	0.48	1.11	0.76
15	0.76	0.37	0.68	1.03
20	0.78	0.55	0.76	0.59
25	0.74	0.60	0.71	0.16
30	0.92	0.50	0.27	1.45
35	0.39	0.49	0.44	0.54

Tabla 7.8 Valores de ΔE_{CMC} para el néctar de tamarindo

Tiempo (min)	75°C	80°C	85°C	88°C
5	1.06	0.57	0.29	0.59
10	1.11	1.55	0.39	0.49
15	0.93	1.20	1.53	1.99
20	1.17	1.72	1.26	0.96
25	0.73	1.19	1.64	1.52
30	1.14	0.81	0.81	0.63
35	0.63	1.28	0.88	0.89

Levefre (1971) reportó que el principal pigmento responsable de la coloración del tamarindo es la antoxantina vitexina, además de taninos y otros pigmentos, Lewis y Neelakantan (1964) reportan también a la vitexina como pigmento principal además de la mangiferina y orientina pigmentos presentes en la pulpa de tamarindo.

Czyhrinciw et al. (1965) reportó un contenido de taninos en el tamarindo de 158 mg/100 g, mencionando además la termorresistencia de este tipo de compuestos, aunado a la alta acidez de las muestras que es un factor que también tiene que ver con los nulos cambios percibidos en el color de los productos de tamarindo. Por lo que la acidez de los productos de tamarindo así como el pH juegan un papel protector muy importante sobre los pigmentos característicos reportados en el fruto al ser sometidos al tratamiento térmico.

7.7 Cinéticas de inactivación térmica de la enzima pectinesterasa

La inactivación de la enzima pectinesterasa tanto en puré como en néctar presentó dos fracciones de la enzima también conocidas como fracciones isoenzimáticas (Ling y Lund, 1977) que presentan diferentes grados de resistencia térmica (Figura 7.8, 7.9 y 7.10). Las gráficas de las cinéticas enzimáticas a las diferentes temperaturas para el puré de tamarindo se presentan en el apéndice C.

Se aprecia que el tiempo de reducción y el número de ciclos logarítmicos de reducción aumentan conforme es mayor la temperatura y el tiempo de trabajo.

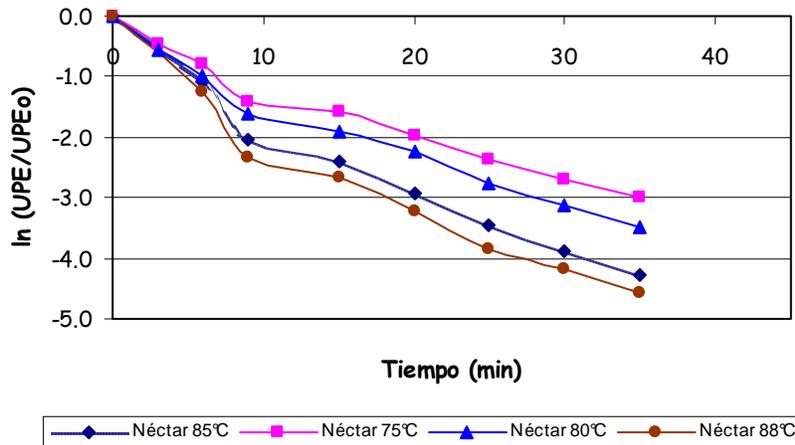


Figura 7.8 Cinética de inactivación enzimática en néctar de tamarindo

Ling y Lund (1977) encontraron este mismo comportamiento para la enzima peroxidasa en algunos vegetales, incluso existen reportes de hasta 6 diferentes isoenzimas con diferentes estabilidades térmicas, reportan también que al presentarse dicho comportamiento enzimático es recomendable analizar las 2 fracciones y de esta forma calcular la constante de inactivación térmica (k) para cada una de ellas, obteniendo de este modo dos valores D , un valor para la fracción lábil o primera fracción (Figura 7.9) y el segundo valor para la fracción resistente o segunda fracción (Figura 7.10).

Hernández (1980) reporta que existe una variabilidad en el contenido de pectinas durante la maduración del tamarindo, debido a que primeramente existe una gran actividad degradativa o hidrólisis enzimática por parte de la pectinesterasa provocando una reducción del contenido de pectinas, pero dado un proceso fisiológico del fruto ocurre una síntesis de pectinas en la piel y cáscara de fruto, pero debido a que de manera metabólica el fruto se deshidrata, se da una baja en la actividad enzimática, pero al

hidratar el tamarindo ya sea para su preparación o para la obtención de la pulpa la actividad enzimática reinicia.

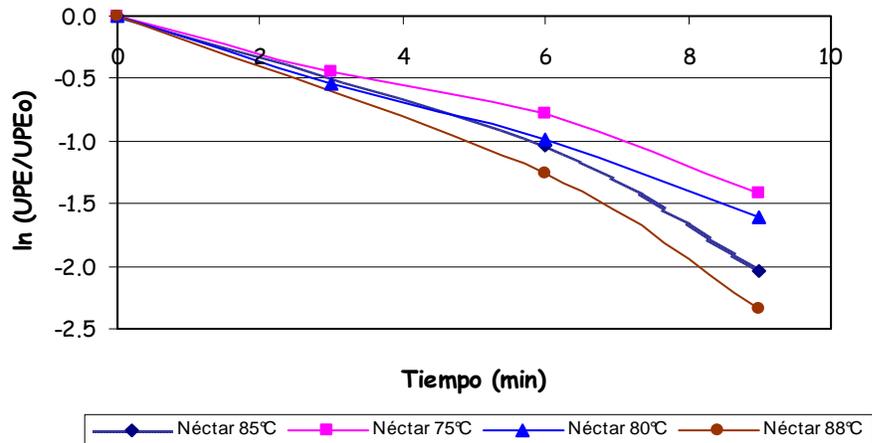


Figura 7.9 Cinética de inactivación enzimática en néctar de tamarindo fracción 1

Los valores de las constantes de inactivación térmica (k) para la pectinesterasa son en el caso del puré de 0.0920 a 0.1866 min⁻¹ para la primera fracción y de 0.0836 a 0.1473 min⁻¹ para la segunda, en el néctar se tienen para la primera fracción valores de 0.1176 a 0.2197 min⁻¹ y para la segunda 0.0836 a 0.1473 min⁻¹ a temperaturas de 75 a 88°C.

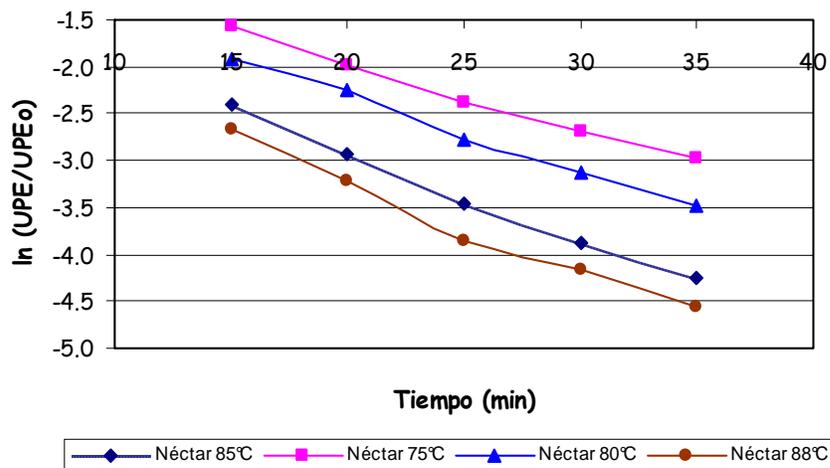


Figura 7.10 Cinética de inactivación enzimática en néctar de tamarindo fracción 2

Los valores de las constantes (Tabla 7.9 y 7.10) tanto como para el puré como para el néctar demuestran que la segunda fracción es más resistente térmicamente y que necesita de un mayor tiempo de tratamiento térmico para su inactivación, así mismo el puré muestra valores mas pequeños de k, por lo que es necesario tiempos más prolongados para lograr la inactivación enzimática, con respecto al néctar.

Tabla 7.9 Parámetros de inactivación enzimática en puré de tamarindo

Temp (°C)	D (min)		k (min ⁻¹)	
	1 Fracción	2 Fracción	1 Fracción	2 Fracción
75	25.04	31.87	0.0920	0.0723
80	17.48	26.81	0.1318	0.0859
85	14.80	21.62	0.1556	0.1056
88	12.34	19.24	0.1866	0.1197

Tabla 7.10 Parámetros de inactivación enzimática en néctar de tamarindo

Temp (°C)	D (min)		k (min ⁻¹)	
	1 Fracción	2 Fracción	1 Fracción	2 Fracción
75	19.59	27.55	0.1176	0.0836
80	16.55	21.70	0.1391	0.1061
85	13.84	18.89	0.1664	0.1219
88	10.48	15.64	0.2197	0.1473

Los valores de la energía de activación para la enzima PE se obtuvieron por medio de la grafica de Arrhenius que se muestra en la figura 7.11 para el puré y en la figura 7.12

para el néctar, empleando los valores de la constante de inactivación (k) de ambas fracciones.

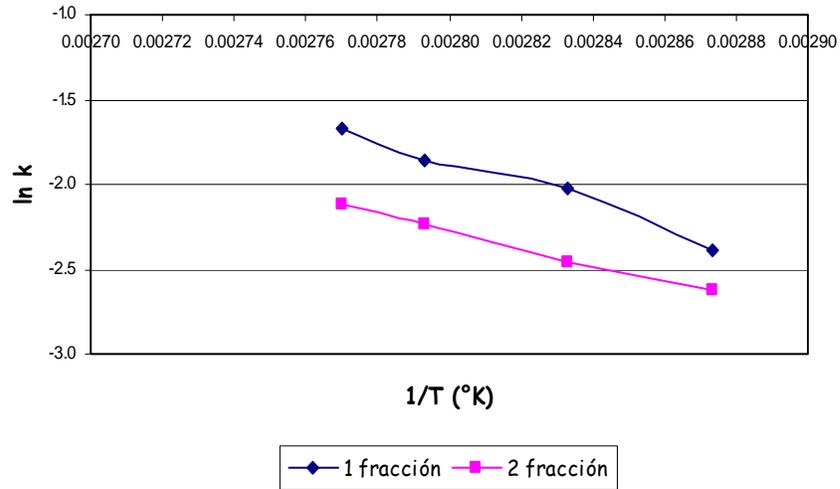


Figura 7.11 Grafica de Arrhenius para obtener la Ea en puré de tamarindo

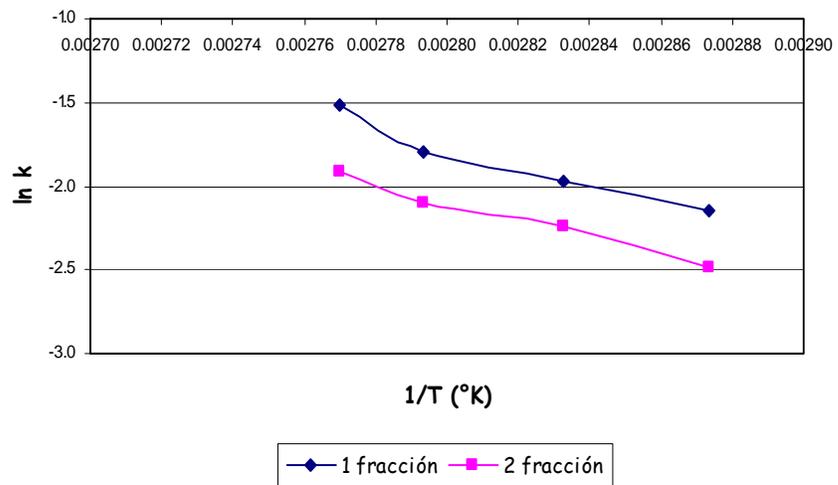


Figura 7.12 Grafica de Arrhenius para obtener la Ea en néctar de tamarindo

Tabla 7.11 Ea en puré y néctar de tamarindo

	Puré		Néctar	
	1 Fracción	2 Fracción	1 Fracción	2 Fracción
Ea (cal/g.mol)	13, 162	9, 780	11, 322	10, 321

Las valores de Ea obtenidos (Tabla 7.11) son menores en la segunda fracción enzimática respecto a la primera para ambos productos, lo que indica que tanto en el puré como en el néctar la segunda fracción enzimática requiere de una mayor energía para la inactivación que la primera fracción, la segunda fracción enzimática del puré de tamarindo es la que presenta una mayor termorresistencia por lo que es necesario una mayor energía para inactivarla.

7.8 Tiempo de inactivación térmica (TIT)

Los tratamientos térmicos efectuados para encontrar el tiempo de inactivación de la enzima pectinesterasa se determinaron en base a los valores D obtenidos en la cinética enzimática, manejándose tratamientos térmicos de entre 2 y 3.5 valor D en el puré (Tabla 7.12), y de 1.5 a 3D para el néctar (Tabla 7.13). Las Tablas 7.12 y 7.13 muestran además de la temperatura y los tiempos utilizados, el resultado obtenido para cada prueba. El control utilizado para obtener el valor de referencia se realizó introduciendo 30 ml de puré o néctar en un tubo similares a los utilizados durante los tratamientos, colocándolos en un autoclave para su esterilización a 121°C durante 15 minutos, registrando el valor de la viscosidad como el valor de referencia para la prueba, si el valor de viscosidad obtenido para las muestras se encuentra igual o por debajo de éste, se considera prueba negativa (-), y si es mayor se toma prueba positiva (+).

Los valores de temperatura necesaria para la inactivación térmica de la enzima en un 1 minuto de tratamiento al valor de z obtenido son de $F_{108.95^{\circ}\text{C}}^{37.87^{\circ}\text{C}} = 1$ para el puré de tamarindo, y para el néctar de $F_{101.48^{\circ}\text{C}}^{34.25^{\circ}\text{C}} = 1$.

Tabla 7.12 Tratamientos aplicados para inactivar la enzima en puré de tamarindo

Temp (°C)	Tiempo (min)	μ (centipoise)	Prueba
121 *	15	12.2	
80	50	13.6	+
80	65	12.2	-
80	80	12	-
85	40	12.6	+
85	50	12	-
85	65	11.8	-
88	30	12.6	+
88	40	11.4	-
88	55	11.4	-

*Control esterilizado térmicamente a 121°C durante 15 min

Tabla 7.13 Tratamientos aplicados para inactivar la enzima en néctar de tamarindo

Temp (°C)	Tiempo (min)	μ (centipoise)	Prueba
121 *	15	11	
80	35	12	+
80	50	10.8	-
80	60	10.2	-
85	25	11.8	+
85	35	11.4	-
85	40	10.2	-
88	20	11	+
88	30	10.6	-
88	40	10	-

*Control esterilizado térmicamente a 121°C durante 15 min

Los tratamientos aplicados para el puré tienen mayores tiempos que el néctar, ello debido a la mayor termoresistencia mostrada para el puré al ser comparada con el néctar.

El log del tiempo al cual se logró la inactivación de la enzima pectinesterasa en el puré y néctar de tamarindo a las diferentes temperaturas de trabajo se muestra en las Figuras 7.12 y 7.13 respectivamente. Los valores positivos representan el máximo tiempo en el

que se obtuvo actividad residual de la enzima mientras que los negativos indican que no hubo actividad por parte de la enzima.

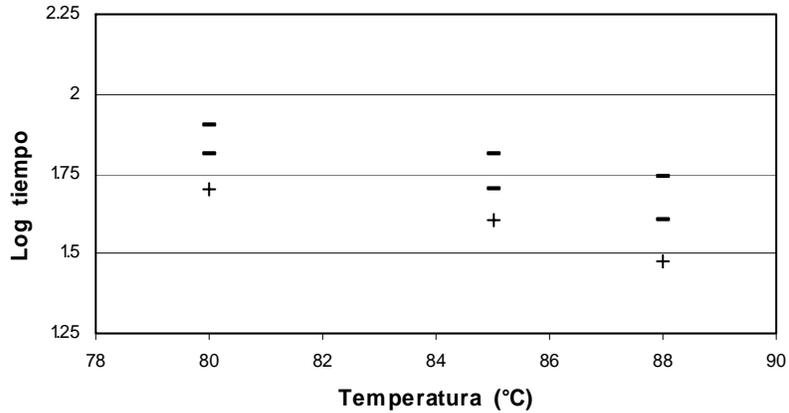


Figura 7.13 Tiempos de inactivación térmica (TIT) en puré de tamarindo

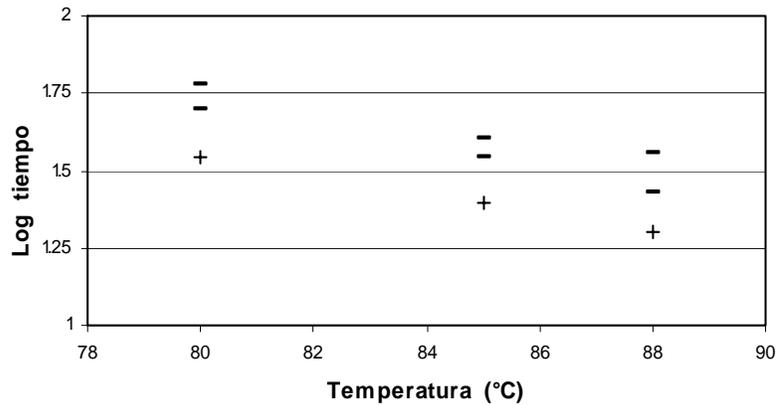


Figura 7.14 Tiempos de inactivación térmica (TIT) en néctar de tamarindo

Los valores de inactivación para la enzima PE en el puré de tamarindo se encontraron en el rango de 1.5 y 2.0 veces el valor D, en cambio para el néctar se registraron entre 1.25 y 1.75 D, todos los tratamientos efectuados para las diferentes temperaturas al último tiempo de trabajo mostraron actividad nula por parte de la enzima.

Tabla 7.14 Valores k, D, z y Ea para la inactivación de la enzima en puré y néctar de tamarindo

	Puré		Néctar	
Temp (°C)	D (min)	k (min ⁻¹)	D (min)	k(min ⁻¹)
80	57.5	0.0401	42.5	0.0542
85	45	0.0512	30	0.0768
88	35	0.0658	25	0.0921
z (°C)	37.87	Ea 15, 312	34.25	Ea 16, 859

Como se observa en la tabla 7.14 los valores D y z obtenidos para los tiempos de la inactivación térmica enzimática para el puré y néctar de tamarindo. Los valores D se obtuvieron como el punto medio entre la prueba positiva y negativa para cada temperatura, la tendencia de los valores D, es disminuir conforme se aumenta la temperatura, comparativamente los valores D obtenidos son mayores en puré con respecto al néctar, necesitando mayores tiempos de tratamiento usando una misma temperatura para inactivar la enzima en el puré que en el néctar, los valores de z obtenidos para ambos productos son muy semejantes, se observa que los valores k son menores en el puré requiriendo tiempo mas largos para la inactivación enzimática.

7.9 Desarrollo del primer cambio en sabor (TFCF)

El tiempo necesario para desarrollar el primer cambio en sabor (TFCF) en néctar de tamarindo se determinó con evaluación sensorial mediante la aplicación de pruebas triangulares.

En la figura 7.15 se observa a que tiempo ocurre el primer cambio en sabor (TFCF) para el néctar de tamarindo a las diferentes temperaturas de trabajo. Para cada temperatura se obtuvieron dos puntos: el tiempo mínimo de tratamiento para el cual los jueces sí detectaron el primer cambio en sabor, y el máximo tiempo de tratamiento para no detectarlo se les consideró como prueba positiva para la primera y como prueba positiva

para la segunda, el desarrollo del primer cambio en sabor en el néctar de tamarindo se registro entre 2 y 2.5 D de la enzima PE.

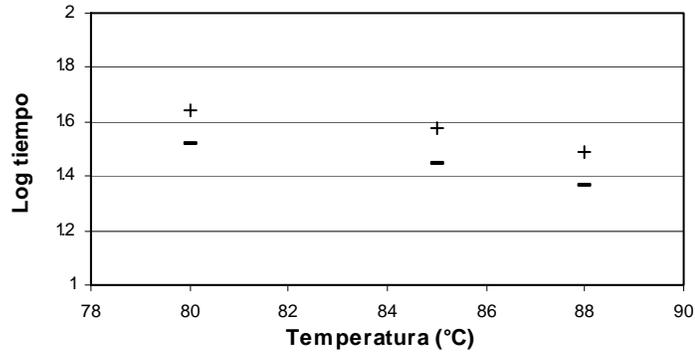


Figura 7.15 Valores TFCF para néctar de tamarindo

Se observa en la figura 7.15 qué a medida que aumenta la temperatura se requiere de un menor tiempo para que se presente el primer cambio en sabor, Nagy y Rouseff (1986) menciona que las altas temperaturas necesarias para inactivar las diferentes enzimas tienen un efecto deteriorativo en el sabor y aroma de las bebidas frutales provocando la formación de olores, colores y sabores indeseables.

Tabla 7.15 Valores TCFC, k's y z para néctar de tamarindo

Temp (°C)	TCFC (min)	k's
80	49.5	0.0465
85	42.5	0.0542
88	35.5	0.0649
z (°C)	56.8	Ea (cal/g.mol) 10, 247

La tabla 7.15 muestra los valores obtenidos para el tiempo necesario en desarrollar el primer cambio en sabor para cada una de las temperaturas de trabajo y con la regresión obtener el valor de z (°C), se observa que los valores de la constante de inactivación (k)

para el primer cambio en sabor mas pequeños que los obtenidos en la cinética de inactivación de la enzima, además el valor de la energía de activación es mucho mayor en el TFCF que en TIT denotando que se requiere de mucho más energía para desarrollar el cambio en el sabor que la energía requerida para inactivar la enzima PE, por lo que es posible inactivar la enzima sin provocar cambios en el sabor del producto.

El valor de F obtenido para un minuto en el néctar de tamarindo es $F_{109.60^{\circ}\text{C}}^{56.8^{\circ}\text{C}} = 1$.

7.10 Optimización del proceso de pasterización en néctar de tamarindo

Para la optimización del proceso se emplearon los parámetros D determinados para la inactivación de la enzima y degradación del sabor. Graficando los logaritmos de los tiempos equivalentes a cada parámetro con respecto a la temperatura para establecer una relación que permita la máxima retención de los nutrientes y atributos sensoriales, en este caso el primer cambio en sabor. Es conveniente recalcar como se menciona en capítulos anteriores, que a partir de los tratamientos térmicos requeridos para inactivar la enzima pectinesterasa es posible obtener productos microbiológicamente seguros ya que los microorganismos de interés en este tipo de alimentos (alta acidez) como levaduras, mohos y bacterias ácido lácticas, son mucho más termosensibles que la enzima.

Como puede observarse en la figura 7.16 para el néctar de tamarindo, la enzima se inactiva mas fácilmente al presentar una mayor pendiente, aunque la pendiente del tiempo para el desarrollo del primer cambio en sabor presenta valores muy cercanos, ya que la curva de inactivación de la enzima (Línea TIT) queda por debajo de la del cambio en sabor, por lo tanto se pueden establecer tratamientos que permitan la estabilidad del néctar, ello es inactivar la enzima y no producir cambios en características sensoriales.

De esta manera los tratamientos térmicos deben de realizarse a temperaturas mayores a 80°C ya que es el punto donde las líneas de TIT y FCFC comienzan a separarse, de modo que para obtener las combinaciones de tiempo y temperatura óptimas para pasteurizar el néctar de tamarindo, los tiempo se pueden obtener a las diferentes temperaturas en base a la ecuación 7.1, por ejemplo para una temperatura de trabajo de

85°C se requieren de una pasteurización de 30 min para inactivar la enzima y no desarrollar cambios en sabor ni color, a 90° se requiere de un tratamiento de 20 minutos para no desarrollar cambios sensoriales e inactivar la enzima, a 95°C una pasteurización de 14 min (Tabla 7.16).

$$\log t = -0.029T + 3.9429 \quad (7.1)$$

Donde:

t = tiempo de tratamiento en minutos

T = Temperatura del tratamiento (°C)

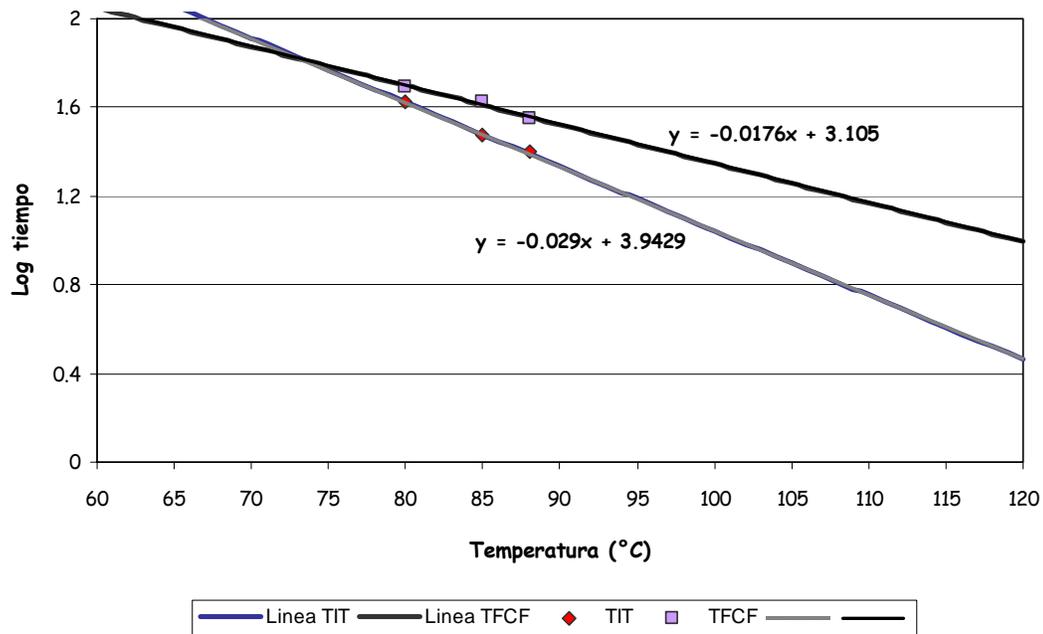


Figura 7.16 Optimización del tratamiento térmico para néctar de tamarindo

Tabla. 7.16 Tiempos de pasteurización para el néctar de tamarindo

Temperatura (°C)	Tiempo (min)
80	30.05
86	28.11
87	26.21
88	24.59
89	23
90	20.13

En general a más alta temperatura de tratamiento menor el tiempo necesario para inactivar la PE sin menoscabo del sabor y color.