CAPITULO IV

REVISION BIBLIOGRAFICA

4.1 Productos de frutas

La demanda por los productos de frutas ha crecido de manera considerable en los ultimos años, debido a los aportes nutricionales en combinación con las características naturales y sensoriales que ofrecen, siendo fuente de una cantidad innumerable de nutrimentos y probablemente de otros componentes que aún no han sido identificados (Tressler et al., 1980).

La mayoría de las frutas de temporada pueden ser cortadas cuando aun están verdes ó inmaduras y ser almacenadas a bajas temperaturas por 2 o 3 semanas y pueden mantenerse en condiciones controladas de humedad y temperatura hasta alcanzar la madurez ideal para su procesamiento; por el contrario, las frutas tropicales no se conservan muy bien almacenándolas en frió y no responden a condiciones controladas de maduración, tendiendo a ser más suaves y jugosas si se procesan maduras por lo que deben de ser cortadas cerca de su madurez óptima y ser procesadas a los pocos días del corte (Seal, 1967).

La conservación de las frutas tropicales procesándolas en productos comerciales como pulpas para posteriormente preparar néctares, jugos y mezclas de jugos de frutas tiene un mercado económico potencial. Los jugos de frutas generalmente tienen sabores muy ácidos o muy fuertes para tomarse como bebidas sin diluir. A menudo estos jugos son deliciosos después de ser diluidos o mezclados con jarabes u otros jugos de sabor más suave (Luh, 1980). La composición química de un jugo depende ampliamente de las influencias combinadas de mecanismos regulatorios genéticos y los ambientes físico, químico y biológico a los cuales la fruta fue expuesta durante su crecimiento y tratamiento postcosecha (Luh, 1971).

La comisión del Codex Alimentarius y la FAO (1992) definió néctar de frutas como el producto elaborado con jugo, pulpa o concentrado de frutas, adicionado de agua, y con/sin la adición de azucares o cualquier otros edulcorantes permitidos.

La diferencia entre néctar y jugo de frutas es que éste último es el líquido obtenido al exprimir algunas clases de frutas frescas, por ejemplo los cítricos, sin diluir, concentrar ni fermentar, o los productos obtenidos a partir de jugos concentrados, clarificados, congelados o deshidratados a los cuales se les ha agregado solamente agua, en cantidad tal que restituya la eliminada en su proceso (FAO, 1992).

Entre los productos de tamarindo más comunes y comerciales se encuentran los dulces y golosinas elaborados a base de la pulpa de la fruta; en productos tales como bebidas o néctares, comercialmente no existen muchas marcas que manejen este producto siendo una característica principal la alta acidez de este tipo de productos que no es del agrado de los consumidores, y es un factor que se tiene que manejar al elaborar bebidas de tamarindo (Jiménez, 1983).

4.2 Tamarindo (*Tamaridus indica L.*)

Es una vaina de color café canela de forma alargada semicurva de 6 a 20 cm de longitud y de 3 a 4 cm de ancho, en periodo de maduración las vainas se tornan de un ligero color pardo con epicarpio quebradizo, conteniendo varias semillas (usualmente de 3 a 10) envueltas por una pulpa fibrosa de color café oscuro, los estrechamientos parciales de la vaina muestran el número de semillas contenidas en cada fruto (Salunkhe y Desai, 1984).

En México se cultiva mayoritariamente en los estados de la región del Pacífico de México (Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas) donde son cultivadas cerca de 3,000 hectáreas de tamarindo que producen más de 15 mil toneladas de fruta. El rendimiento medio regional es de 5.8 ton/ha. En los últimos años, se ha incrementado el interés hacia este frutal y actualmente representa una alternativa económicamente

rentable para los productores de la región. La mayoría de las plantaciones de tamarindo presentan una gran heterogeneidad en rendimiento, alternancia de producción, forma y tamaño del fruto, lo que ocasiona baja productividad por el comportamiento errático de la producción y diversidad en calidad del fruto. En México, no existen clones de tamarindo caracterizados ni por su productividad, alternancia o calidad de fruta, siendo finalmente el estado o la región de procedencia una forma de clasificarlo (SAGARPA, 2003).

4.2.1 Generalidades y descripción botánica

Nombre común: Tamarindo
Nombre científico: *Tamarindus indica L.*
Familia: Leguminosas
Subfamilia: Caesalpinaide
Tribu: Amherstiae

El tamarindo es un árbol de gran tamaño llegando a medir hasta 25 m, siendo de gran longevidad, usualmente verde, nativo del África, se ha plantado y naturalizado extensamente en las regiones tropicales y subtropicales, del Continente Americano en regiones que incluyen la del Caribe, América Central y el norte de América del Sur, se caracteriza por una copa redondeada, esparcida y densa, con ramas bajas, hojas parapinadas y una corteza gruesa, gris con fisuras profundas (Troup, 1971). El tronco es corto, derecho y grueso, sus ramas ampliamente extendidas con los follajes en forma de zigzag. Las hojas son oblongas, con la base oblicua y el ápice redondeado, casi sésiles, con longitud fluctuante de 0.3 a 2.5 cm y un ancho de 0.2 a 0.8 cm, de color verde pálido, sus flores se encuentran en racimos cortos y laxos en forma axilar y muy vistosas con color rosa a rojo. La semillas son de forma ovalada, comprimidas lateralmente, lisas, con la testa café lustrosa, de 1 cm de largo aproximadamente, carecen de endospermo y presentan un par de cotiledones gruesos y su radícula es pequeña y recta (Salunkhe y Desai, 1984).

El árbol de tamarindo requiere de suelos bien drenados y crece mejor en suelos aluviales profundos. La especie puede prosperar en una variedad de suelos, incluyendo arenas costeras y los suelos rocosos. El árbol usualmente comienza a producir fruta entre los 7 y 10 años de edad, llegando a estabilizar la producción de vainas alrededor de los 15 años. La fruta es de forma oblonga y con una sección transversal casi circular de 6 a 20 cm de largo (dependiendo de la región o zona de producción), formando cierta curva con protuberancias irregulares, siendo de color pardo brillante. Cuando maduran completamente las vainas son de color pardo oscuro con un epicarpio quebradizo conteniendo varias semillas (usualmente de 3 a 10) envueltas por una pulpa fibrosa también de color pardo oscuro, las cuales son duras, ovaladas de 9.5 mm a 12.7 mm de longitud unidas y envueltas entre si con fibras del mismo color encontrándose en la pulpa cubiertas individualmente por una especie de membrana (Parra, 1976).

4.2.2 Historia y uso

El tamarindo es nativo de las sabanas secas del África tropical, en lugares como Etiopía, Kenya y Tanzania, incluyendo la zona oeste del África, pero fueron los árabes los primeros en tener conocimiento de las propiedades de la fruta, que fue conocida en Europa como Tamarindo de la India. Los comerciantes lo introdujeron al Medio Oriente, Asia, y ahí, en especial, a la India, por cual debe su nombre. Tamarindo deriva del árabe tamaré (dátil), e hindi (indio), que significa dátil de la India (Dalziel, 1937).

La introducción del tamarindo al continente Americano se dio entre los años 1700 y 1800, probablemente junto con los primeros embarques de esclavos del oeste de Africa. En México se llega a encontrar en forma silvestre en las costas del Pacífico, principalmente en los estados de Jalisco, Colima, Chiapas y Guerrero. Especie ampliamente cultivada en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales, además de lugares donde se ha adaptado siendo mayoritariamente en regiones con estaciones secas de una larga duración. (Osawa, 1994).

La fruta es utiliza en la India como un ingrediente para muchos alimentos, por ejemplo se usa como condimento para encurtir productos de pescado, como sazonador para algunas carnes y en general para dar sabor a los alimentos, los hindúes lo han utilizan desde la antigüedad con propósitos medicinales por las propiedades antiescorbúticas y laxantes de la pulpa, sus hojas se usan para tratar algunos malestares y enfermedades en el aparato digestivo debido a sus propiedades diuréticas, siendo también un buen recurso de proteínas, minerales y vitaminas, debido a su cierto sabor a menta se emplean como masticatorio, se sabe también que las semillas son procesadas específicamente con baños de vapor y posteriormente molidas y usadas como complementos nutritivos debido a su alto contenido de algunos aminoácidos, además de ser una fuente rica en aceites comestibles con grandes cualidades culinarias. En general la mayoría de los productos elaborados con algún componente de la fruta son de importancia económica para los países del Asia Oriental (Morton, 1958).

En México no es tan aprovechada la fruta como en los países de Asia, principalmente en nuestro país se utiliza para producir algunas bebidas refrescantes y/o gaseosas, en algunas partes se extrae pectina de la semilla y se obtiene ácido tánico de la cáscara, son de los pocos productos que se manejan actualmente, sin embargo existe mejor mercado en nuestro país para la producción de bebidas ya sea néctar o jugo (Jiménez, 1983).

La pulpa obtenida del tamarindo es un producto agroindustrial que representa un considerable valor económico en muchas partes del mundo de ahí la importancia de conocer las características de sus productos derivados para poder efectuar efectivos procesos de conservación y poder trasladarlos a muchas partes del mundo (Osawa, 1994).

4.2.3 Análisis bromatológico de tamarindo y pulpa

La composición del tamarindo básicamente está dada por aproximadamente 30% de cáscara, 40% de pulpa y un 40% restante compuesto por la semilla.

Tabla 4.1 Composición química del tamarindo*

Compuesto		Tamarindo	Pulpa de tamarindo
Agua (%)		12.6 - 34.2	28 - 42
Proteína (%)		1.4 – 3.3	1.0 – 1.5
Lípidos (%)		0.6 – 1	0.4 – 0.8
Carbohidratos (%)		59.7 – 71.8	27 - 48
Cenizas (%)		1.5 – 4.5	1.0 – 3.5
Fibra (%)	Pectina (%)	3 – 5	2 – 2.6
	Celulosa (%)	3 - 4	2 - 4

*Por 100 g de porción comestible Fuente: National Academy of Sciences (1979).

El tamarindo (Tabla 3.1) es de las frutas tropicales con los niveles más bajos de agua y probablemente como una consecuencia tiene los niveles más altos de proteína, carbohidratos y minerales que ninguna otra fruta (Hasan et al., 1972). Sin embargo, la característica más sobresaliente del tamarindo es su elevado valor de acidez expresado como ácido tartárico, el cual no es común en las frutas tropicales. Aunque existen otras frutas con contenido de ácido tartárico tales como uva, toronja y frambuesa, estas no presentan tan elevados niveles como el tamarindo (Hasan et al., 1972). Otra característica importante es su alto contenido en azúcares, siendo la segunda de mayor contenido de azúcares totales entre las frutas. Baragano et al. (1980) reportó que el total de azúcares y azúcares reductores en el tamarindo son de 31 y 23% respectivamente.

Lewis et al. (1961) reportaron que cerca de la mitad del ácido tartárico presente en el tamarindo se encuentra como bitartato de potasio (también conocido como crémor tártaro) y en menor proporción compuesto por tartato de calcio; además del ácido tartárico, el tamarindo cuenta con otros ácidos orgánicos aunque en mucho menor proporción entre los que figuran los ácidos málico, oxálico y acético; es una fruta con contenidos bajos de vitaminas C y A. Los niveles de vitamina C o ácido ascórbico

difieren con la variedad y las características de crecimiento y poscosecha de la fruta, oscilando entre 2 y 20 mg/100 g.

La acidez de la pulpa (11.32%)(Jiménez, 1983) se debe a la presencia del ácido tartárico que es el de mayor contenido cuya porcentaje es del 90% de la acidez total del tamarindo, siendo el cítrico el segundo en cantidad con el 5% y el resto de la acidez de la fruta son de cantidades menores de ácido ascórbico, ácido acético y ácido tánico, dándole un interés especial a la fruta debido a que contiene una gran cantidad de ácidos orgánicos, que junto con el alto porcentaje de azúcares muestran una relación que no se da en ninguna otra fruta (Jiménez, 1983).

La pulpa de la fruta se extrae principalmente introduciendo a la fruta en un baño de vapor durante varias horas y con un periodo de agitación se obtiene un líquido denso el cual se tamiza y homogeniza para después procesarlo térmicamente mediante un pasteurizado, su pH oscila entre 2 y 4 (National Academy of Sciences, 1979). La pulpa de la fruta, que comprende alrededor de la mitad del peso de la vaina y de sabor agridulce, contiene además de los azúcares y ácidos orgánicos, sustancias tales como pectinas, vitaminas y minerales (Lewis y Neelakantan, 1964).

4.2.4 Composición nutrimental de la pulpa de tamarindo

El análisis nutrimental de la pulpa de tamarindo (Tabla 3.2) indica que se deriva de una fruta con alto contenido de minerales, especialmente potasio y fósforo, alto contenido en carbohidratos (62.7 g/100 g de porción comestible) donde el azúcar mayoritario presente es la glucosa, muy bajo en lípidos como la mayoría de las frutas tropicales, y no obstante de tener bajos valores de vitamina C y de vitaminas del complejo B, es un producto muy rico en hierro, además de que su contenido proteico es alto comparado con otras pulpas de fruta (FAO, 1997).

Tabla 4.2 Composición nutrimental de la pulpa de tamarindo*

Agua (g) 31.4	Sodio (mg) 28
Proteínas (g) 2.8	Potasio (mg) 628
Grasas (g) 0.6	Calcio (mg) 74
Cenizas (g) 2.5	Fósforo (mg) 113
Carbohidratos (g) 62.7	Hierro (mg) 2.8
Ácidos grasos saturados (g) 0.3	Zinc (mg) 0.1
Vitamina A U.I. 45	Tiamina (mg) 0.43
Ac. grasos monoinsaturados (g) 0.2	Riboflavina (mg) 0.15
Ac. grasos poliinsaturados (g) 0.1	Niacina (mg) 1.9
Ac. Tartárico (g) 12.5	Ac. Nicotínico (mg) 1.8
Colesterol (mg) 0	Vitamina C (mg) 4.0

*por 100 g de porción comestible

Fuente: FAO/Latin Foods 1997 Tabla de Composición de Alimentos de América Latina).

4.2.5 Procesamiento del tamarindo

Existen diversas técnicas que describen la obtención de la pulpa de tamarindo, su preparación y clarificación para la formulación de bebidas, Taber (1955) describió estas operaciones comenzando por el rompimiento y remoción de la cáscara del fruto de manera manual seguido de una agitación de la fruta en agua por varias horas para separar las semillas de las partes comestibles de la fruta, seguido de una filtración para eliminar las semillas y partes venosas de la fruta con agua caliente. En algunas partes la pulpa extraída la dejan reposar y fermentar por 72 horas con el objeto de que desarrolle aromas y sabores característicos. Los procedimientos de la extracción de la pulpa en general son muy semejantes, sin embargo, algunos autores manejan baños de vapor o incluso la ebullición, para después filtrar y eliminar las partes no comestibles de la fruta.

La concentración recomendada de pulpa de tamarindo en las preparaciones comerciales es de entre 20 y 25% de pulpa, con la finalidad de obtener una bebida con sabor distintivo y una acidez deseable (Taber, 1955).

Benero et al. (1974) preparó una bebida refrescante de tamarindo con una gran aceptación, la bebida de tamarindo contenía de 9 a 12% de pulpa y con un ajuste de °Brix de 21.5. La bebida preparada se pasteurizó a 85°C, se envasó en contenedores de metal delgado, se enfrió y almacenó a 29°C, después de un año de almacenamiento la bebida fue sensorialmente aceptada por una serie de panelistas.

4.3 Tratamiento térmico

El termino tratamiento térmico se emplea para todos aquellos procesos en donde se utiliza calor para la inactivación de enzimas y/o la destrucción de cualquier tipo de microorganismo existente en el producto alimenticio, los más conocidos son la pasterización y la esterilización, los dos procesos vienen acompañados de un envasado aséptico del alimento en envases preesterilizados de diferentes materiales, pero en el caso de la pasteurización también se almacenan a temperaturas de refrigeración (Holdsworth, 1988).

El efecto del tratamiento térmico depende principalmente de las temperaturas utilizadas y del periodo de exposición, aunque otros factores ejercen también una influencia sobre éste, siendo el principal el pH, dado que influye mucho sobre la posibilidad de que proliferen los microorganismos que pueden sobrevivir después del tratamiento térmico, en general los jugos y néctares de frutas son ácidos y pueden conservarse satisfactoriamente mediante una pasterización reducida a temperaturas por debajo de los 90°C, por lo que se les considera alimentos de alta acidez con pH’s menores a 4.5, a pH mayores de 4.5, se busca la destrucción de bacterias patógenas que pueden crecer a esos valores de pH, y en los alimentos de alta acidez nos interesa la destrucción de microorganismos deteriorativos y la inactivación de enzimas. La mayoría de las frutas presentan valores de pH menores de 4.5 por lo que pueden ser atacadas por

microorganismos deteriorativos como mohos, levaduras y bacterias ácido lácticas, además son ricas en ciertas enzimas como catalasas, peroxidasa, polifenoloxidasa o pectinestearasa, las cuales provocan cambios indeseables en los productos de frutas además de que presentan una elevada resistencia al calor, principalmente la enzima peroxidasa (Rahman, 1999). En jugos o néctares de frutas las bacterias ácido lácticas presentan poca resistencia térmica por lo que se requiere de un tratamiento térmico ligero para asegurar la estabilidad microbiológica (Jay, 2000).

La aplicación de los procesos térmicos conlleva al uso de altas temperaturas durante un cierto tiempo que además de que permite la estabilidad y comestibilidad del alimento, destruyen a los microorganismos patógenos y deteriorativos que puedan crecer durante el transporte o almacenamiento del producto, pero las nuevas tendencias en el consumo de este tipo de alimentos exigen que, además de ser seguros y estables, tengan ciertas cualidades como un alto valor nutrimental, agradables al paladar, convenientes y en general, que conserven lo más cercano las características iniciales del producto y a un precio accesible. La mayoría de las veces se aplican temperaturas mucho mayores a las necesarias para asegurar la estabilidad del alimento debido a que los procesadores quieren tener un margen mayor con respecto a garantizar la inocuidad del producto y evitar problemas con el consumidor por el consumo de alimentos contaminados con microorganismos patógenos, pero causando asi un daño irreversible a la calidad sensorial y nutricional del producto, teniendo gastos energéticos elevados aunado a los gastos que representa la adición de nutrimentos para elevar o restaurar los niveles vitamínicos del producto que pudieran haber disminuido durante el procesado.

El propósito de los tratamientos térmicos de pasteurización de productos de frutas es alargar su vida útil y al mismo tiempo maximizar la retención de nutrientes y atributos sensoriales deseables (Lund, 1975, 1977). Para poder optimizar la retención de estos parámetros durante la aplicación del tratamiento térmico de pasteurización se debe conocer la dependencia en la temperatura, de los cambios sensoriales, de la degradación de nutrimentos, la inactivación de los microorganismos y de las enzimas relacionadas

con este tipo de alimentos, la severidad del tratamiento térmico necesario depende de las condiciones iniciales del pH y carga microbiana (Ohlsson, 1980).

4.4 Cinética de destrucción de microorganismos y de la degradación de los factores de calidad

Al someter un producto a tratamiento térmico ocurren muchos cambios a nivel sensorial y nutricional ello depende de las características del alimento ya que pueden ocurrir reacciones de degradación de color, pérdida de vitaminas entre ellas la vitamina C, desarrollo de sabor a cocido u olores a oxidado principalmente, esto es importante ya que la apariencia es el primer factor considerado por el consumidor para aceptar o rechazar un producto. Estos cambios como se menciona anteriormente se asocian a reacciones químicas en los alimentos las cuales, generalmente dependen de un cierto nivel de temperatura, descrito por un valor de z de alrededor de 33°C. El valor de z corresponde al intervalo de temperatura necesaria para provocar un cambio relacionado a una cinética de degradación o una inactivación biológica (Ohlsson, 1980). También hay modificaciones en la textura tales como sedimentación, formaciones de nubes y gelación. A nivel nutrimental hay pérdida de minerales y vitaminas, principalmente de la vitamina C.

Los cambios en la calidad sensorial y nutricional son ocasionados por reacciones químicas en los alimentos que tienen una dependencia con la temperatura, al igual que la inactivación de sistemas biológicos como enzimas y microorganismos que también son dependientes de la temperatura (Ohlsson, 1980). Los microorganismos son la causa inmediata de las diversas alteraciones que sufren los alimentos. Las levaduras y los mohos son poco resistentes al calor, mientras que las bacterias, y más específicamente las esporas de las mismas, son las principales responsables del deterioro de productos conservados por procesos térmicos (Rodrigo et al., 1980a). Las bacterias, al igual que algunos factores de calidad se destruyen en forma logarítmica cuando se someten a calor por determinado tiempo. La proporción de muerte permite comparar la resistencia al

calor de diferentes especies de microorganismos a una misma temperatura, o la resistencia de una especie a diferentes temperaturas.

Se sabe que la destrucción microbiana sigue en general una cinética de reacción de primer orden descrita por la siguiente ecuación:

$$-\frac{dN}{dt} = kN \qquad (1)$$

rearreglándola :

$$-\frac{dN}{N} = kdt \qquad (2)$$

en donde:

N = concentración o número de microorganismos
k = constante de proporcionalidad

$-\frac{dN}{dt}$ = proporción a la cual decrece la concentración o el número de microorganismos.

Integrando la ecuación (2) entre los límites No al tiempo 0 y N al tiempo t

$$-\int_{N_o}^{N} \frac{dN}{N} = k \int_0^t dt \qquad (3)$$

tenemos:

$$-\ln N + \ln N_o = kt \qquad (4)$$

de donde:

$$k = \frac{\ln N_o - \ln N}{t} = \left[\frac{2.303}{t} * \log\left(\frac{N_o}{N}\right)\right] \qquad (5)$$

rearreglándo:

$$t = \left[\frac{2.303}{t} * \log\left(\frac{N_o}{N} \right) \right] \qquad (6)$$

teniendo que:

N_0= número inicial de microorganismos
N = número de microorganismos sobrevivientes después del tiempo de calentamiento.

Esta es la base científica de los métodos que permiten obtener los parámetros de tiempo-temperatura para el diseño de procesos de conservación por medio de calor. Para obtener y evaluar estos parámetros en un tratamiento térmico, se usan los valores D, z y F. El valor D o tiempo de reducción decimal es el tiempo requerido a una temperatura T constante para destruir el 90% de las esporas o células vegetativas de un organismo dado. Es decir, cuando N = No/10 sustituyendo en (6), el tiempo t es igual a D:

$$D = \frac{2.303}{k} \qquad (7)$$

Sustituyendo (7) en (6) tenemos:

$$t = D * \log\left(\frac{N_o}{N} \right) \qquad (8)$$

El tiempo necesario para que No/N se reduzca hasta un valor determinado a consecuencia de un tratamiento a temperatura constante T se designa F_T:

$$F_T = D * \log\left(\frac{N_o}{N} \right) \qquad (9)$$

La ecuación (9) se conoce como primera ley de destrucción térmica de microorganismos. Las curvas de destrucción térmica reflejan la resistencia relativa de los microorganismos a diferentes temperaturas. Se construyen graficando el logaritmo de D vs T (temperatura). El valor z es el intervalo necesario de temperatura para atravesar

un ciclo logarítmico en la curva de destrucción térmica. Matemáticamente es igual al recíproco de la pendiente de la curva de destrucción térmica. Este valor z se usa en los métodos de cálculos de proceso para determinar la variación de la velocidad de destrucción térmica con la temperatura:

$$\left[\frac{\log D_2 - \log D_1}{z}\right] = T_1 - T_2 \qquad (10)$$

siendo D_1 el tiempo de reducción decimal a la temperatura T_1, y D_2 el tiempo de reducción decimal a la temperatura T_2. Eliminando logaritmos, rearreglando y multiplicando ambos lados de la ecuación por log No/N:

$$\left[D_2 * \log\left(\frac{N_o}{N}\right)\right] = \left[D_1 * \log\left(\frac{N_o}{N}\right)\right] 10^{\frac{T_1 - T_2}{z}} \qquad (11)$$

Sustituyendo la ecuación (9) en (11) y considerando T_1 igual a T_{ref} tenemos:

$$F_T = F_{ref} 10^{\frac{T_{ref} - T_2}{z}} \qquad (12)$$

El valor de esterilidad F_T a la temperatura T, es el equivalente en minutos a una temperatura dada de referencia (T_{ref}), de todo el calor considerado, con respecto a su capacidad para destruir esporas o células vegetativas de un organismo particular. La ecuación 12 se conoce como segunda ley de cinética de termorresistencia de microorganismos. Estas mismas consideraciones pueden hacerse para otros factores además de microorganismos, como pueden ser la inactivación de enzimas, algunas reacciones químicas que provocan cambios sensoriales y para la pérdida o retención de ciertos constituyentes nutricionales, donde N sería el factor de calidad a evaluar.

4.5 Penetración de calor

El objetivo primario de evaluar las curvas de penetración de calor o el historial de tiempo temperatura a lo largo del proceso térmico es el asegurarse de que el tratamiento térmico que se le ha aplicado al alimento ha sido lo suficiente para inactivar a los microorganismos y asegurar la calidad inocua del alimento, normalmente la evolución de la penetración de calor se efectúa con el uso de termopares de cobre colocados a lo largo del contenedor, principalmente en el centro geométrico del recipiente o llamado punto frío.

La respuesta de la temperatura del producto en el centro geométrico del contenedor dependerá de la temperatura del vapor que se le ha aplicado al contenedor y está gobernada por las leyes de la transferencia de calor las cuales se pueden expresar matemáticamente. Estas expresiones matemáticas sirven de base al método de Ball para el cálculo de la letalidad del proceso (Stumbo, 1973).

La penetración de calor durante el proceso térmico puede ser por conducción o convección, aunque también se pueden tener mecanismos combinados, dependiendo de la naturaleza y consistencia del alimento. La transmisión de calor por conducción ocurre cuando el calor pasa de molécula a molécula en forma ordenada y sin flujo observable de materia, y se presenta en alimentos sólidos o muy viscosos. En la convección, la transmisión del calor se lleva a cabo por el desplazamiento de materia; es un flujo de calor macroscópico donde la porción ya calentada del alimento se hace menos densa y sube provocando la circulación de la masa dentro de la lata, como ocurre con los líquidos. Si el alimento a tratar térmicamente es muy viscoso o pastoso la transferencia de calor predominante será por conducción en cambio si el alimento es un líquido fluído la transferencia de calor mayoritariamente se dará por convección.

La penetración de calor por conducción es lenta y el producto que está junto a las paredes se calienta primero sufriendo intensamente la acción degradante del calor si no se esteriliza en condiciones adecuadas y selectivas (Rodrigo et al., 1980b). En la convección, la transferencia de calor es mucho más rápida, y además puede acelerarse

mediante agitación (convección forzada). En consecuencia, la degradación térmica que sufre el alimento es mucho menor. Además de la consistencia y naturaleza del alimento, la geometría y tipo de material del envase, el grosor de las paredes del mismo y la temperatura inicial del producto afectan la velocidad de transferencia del calor.

4.5.1 Métodos de cálculo de procesos de pasterización (Método general).

Este método fue descrito por Bigelow y Esty (1920) y consiste esencialmente en un procedimiento gráfico de integración de los efectos letales de varias combinaciones tiempo-temperatura existentes en el alimento enlatado durante su procesamiento térmico. Este método es útil cuando se desea conocer el valor de esterilización exacto de un proceso. El método gráfico es aplicable cuando se conocen las condiciones de tiempo de alcance de temperatura de retorta, los datos tiempo-temperatura de penetración de calor y la temperatura del agua de enfriamiento. El cálculo no se adapta fácilmente a procesos donde la temperatura de retorta y/o la temperatura inicial del producto es diferente a aquéllas de las que se obtuvieron los factores térmicos originales del proceso.

4.5.2 Intervalo de letalidad

De las relaciones tiempo-temperatura de la curva de destrucción térmica (TD), se pueden asignar valores de letalidad (velocidad de muerte) para cada temperatura representada por un punto en las curvas que describen el calentamiento y enfriamiento del producto durante su procesamiento. El valor de letalidad asignado a cada temperatura es numéricamente igual al recíproco del número de minutos requeridos para destruir un porcentaje determinado de microorganismos esporulados dado a esta temperatura de las curvas TD. En consecuencia, la letalidad (L) aplicada es el producto del valor de letalidad y el tiempo (en minutos) durante el cual esa temperatura es efectiva. Un proceso de una unidad de letalidad es aquel proceso que es adecuado para lograr el mismo porcentaje de destrucción de una población idéntica de la representada por la curva TD (Stumbo, 1973). La letalidad (L) también puede calcularse mediante la siguiente fórmula (Ball, 1923):

$$L = 10\left(\frac{T - T_{ref}}{z}\right) \qquad (13)$$

Siendo:

T = cualquier temperatura letal.

T_{ref} = la temperatura a la cual se obtiene una letalidad de 1 min (unidad de letalidad) para el microorganismo de la curva de destrucción térmica utilizada como referencia.

z = el número de °C o °F requeridos para atravesar un ciclo logarítmico en la curva de destrucción térmica.

En el método general, el tiempo se representa en las abscisas y el valor de letalidad en las ordenadas correspondientes a sus tiempos. El área bajo la curva se expresa directamente en unidades de letalidad. Para determinar qué tiempo de proceso debe emplearse para obtener una unidad de letalidad, la porción de enfriamiento de cualquier curva de letalidad dada se desplaza de derecha a izquierda hasta obtener una área igual a 1. Cuando la curva ha sido ajustada, el tiempo requerido para lograr la esterilización se toma como el tiempo representado por la intersección de la curva de enfriamiento y el eje X. Este es un procedimiento de prueba y error (Stumbo, 1973).

4.6 Microbiología de las frutas y sus productos

Todas las frutas frescas presentan procesos de envejecimiento, perdiendo su aceptabilidad después de que han sido separados del árbol, este proceso conlleva a perdidas en características sensoriales y nutricionales de la fruta, sin embargo, la causa inmediata más importante de alteración de frutas consiste en la presencia y ataque de los microorganismos, incluso puede ocurrir en etapas anteriores a la recolección, ocasionando pérdidas económicas muy importantes para los productores sumado a que la fruta sufre algunas veces modificaciones irreversibles a lo largo del crecimiento que repercuten en las etapas de recolección y almacenamiento, principalmente ataque por plagas y algunos insectos (Duckworth, 1968).

El pH es el factor más importante que determina el tipo de microorganismos que pueden deteriorar frutas y productos de frutas. La mayoría de las bacterias son inhibidas por los bajos valores de pH encontrados de manera natural en las frutas, pero los mohos, las levaduras y algunas bacterias como las ácido lácticas y ácido acéticas son organismos acidúricos y son capaces de desarrollarse y deteriorar los alimentos de alta acidez, debido a que toleran y encuentran su sustrato en ambientes ácidos. Siendo los mohos y las levaduras los principales microorganismos de deterioro en productos de frutas. En productos de frutas sometidos a tratamientos térmicos, los microorganismos acidúricos presentes tienen en general, poca resistencia térmica y por lo tanto se requieren sólo tratamientos ligeros para asegurar la estabilidad microbiológica del alimento.

Estas bacterias ácido acéticas y ácido lácticas presentes en la mayoría de los jugos de frutas necesitan de cantidades importantes de sustrato para sobrevivir y desarrollarse adecuadamente principalmente de compuestos volátiles y ácidos orgánicos. Las bacterias ácido acéticas son las más importantes y las que se desarrollan en los productos de frutas son heterofermentativas, particularmente existe una bacteria *Baxterium tartarophorum* con capacidad para descomponer el ácido tartárico en CO_2 y ácido acético, este proceso también lo efectúan algunas bacterias *Aerobacter* (Vaughn et al., 1943).

Stadtman et al. 1975 comprobaron que algunos mohos tienen también la capacidad de degradar el ácido tartárico o los tartratos de potasio y calcio. Estos mohos deteriorativos están representados por algunas variedades de *Aspergillus* y *Fusarium*. Los reportes indican que algunas levaduras formadoras de ascoesporas pueden deteriorar productos de frutas y esto se debe a su resistencia térmica. En general se ha encontrado que las ascoesporas de las levaduras pueden ser entre 25 y 350 veces más resistentes que las células vegetativas. Otros hongos importantes son los llamados resistentes al calor, y deben su resistencia térmica a la producción de ascoesporas. Estos mohos se han asociado con el deterioro de muchos productos de frutas sometidos a tratamientos térmicos comerciales. *Byssochlamys* es el género mas resistente y común causante del

deterioro en productos de frutas y esto se debe a la resistencia de sus ascoesporas y a su amplia distribución en el ambiente (Beuchat y Rice, 1981).

Por otro lado las bacterias no esporuladoras son organismos de gran importancia en el deterioro de alimentos de alta acidez, siendo los géneros *Lactobacillus* y *Leuconostoc* los más comunes. Las especies más resistentes de estas bacterias se caracterizan por tiempos de reducción decimal cercanos a 1 min a 65ºC. Otros microorganismos importantes en alimentos ácidos (pH 4.0 – 4.5) y que pudiera ser el caso de algunos productos de frutas, son esporas de *Bacillus coagulans* y *Clostridium pasteurianum*. Se reportan valores de tiempo de reducción decimal entre 0.01 y 0.07 min a 121ºC y valores z entre 8 y 10ºC para *B. coagulans* y para *C. pasteurianum* valores de tiempo de reducción decimal de 0.1 – 0.5 min a 100ºC con valores z entre 6.5 y 9ºC (Stumbo, 1973).

4.7 Actividad enzimática en las frutas

La mayor parte de los cambios químicos que se producen en los tejidos vivos son provocados por las enzimas, siendo muy amplio el número de los sistemas enzimáticos que se han descubierto en los tejidos frutales donde juegan un importante papel en su composición y rigidez, pero también las enzimas presentes en las frutas son las responsables de la maduración y formación de las características sensoriales que les son conocidas. Sin embargo después de su periodo de recolección, ellas son las responsables de la senescencia y de los cambios indeseables que ocurren en la frutas lo que provoca finalmente su desecho y el no ser aprovechadas o destinadas a la transformación en productos de frutas. Existen algunas enzimas que son inactivadas durante alguna de las etapas de preparación o procesamiento de la fruta, comúnmente se utiliza el escaldado (tratamiento térmico a temperaturas menores a 50° C) para inactivar ciertas enzimas deteriorativas, pero existen otras que resisten este proceso y son responsables del deterioro de jugos, néctares y purés de frutas (Holdsworth, 1988).

Dentro de las enzimas más termorresistentes encontramos a la peroxidasa y pectinesterasa. Esta última es la principal responsable de la pérdida de la nube en jugos y

la gelación en concentrados de frutas y se ha demostrado que sus formas termoestables son las principales iniciadoras de la clarificación de jugos cítricos pasteurizados (Versteeg et al., 1980).

Muchas veces, el diseño de los procesos térmicos de pasteurización de jugos cítricos se basa en la destrucción térmica de la forma termoestable de la enzima pectinesterasa, la cual es térmicamente más resistente que las formas vegetativas de los microorganismos (Chen y Wu, 1998). La tabla 3.3 muestra los tiempos y temperaturas para inactivar las enzimas peroxidasa y pectinesterasa en pulpa de 3 diferentes frutas.

Tabla 4.3 Inactivación de las enzimas peroxidasa y pectinesterasa en pulpas de fruta*

Enzima	Mango	Guayaba	Papaya
Peroxidasa	80°C	65°C	70°C
	3 min	7.5 min	3 min
Pectinesterasa	75°C	98°C	90°C
	5 min	5 min	7. 5 min

Fuente: Garcés (1963). *diluida 1:1 H_20

4.7.1 Efectos del calor sobre las enzimas

Las enzimas presentes en los alimentos son capaces de alterar su comestibilidad, degradar el color, aroma, textura y sabor entre otros atributos provocando un deterioro total en éstos. Las enzimas, debido a su carácter proteico, pueden ser inactivadas por calor (40-130°C). La enzima peroxidasa es la más resistente al calor, por lo cual muchas veces se toma como índice para estudios de inactivación enzimática en los tratamientos térmicos.

A temperaturas bajas, la velocidad de destrucción enzimática es mayor que la de los microorganismos, mientras que a temperaturas altas se invierten los términos y se

destruyen más rápidamente los microorganismos que las enzimas. Para un determinado producto, hay siempre una temperatura de referencia en la que se igualan las velocidades de destrucción (Harris y Karmas, 1975).

Un aumento de la temperatura incrementa la velocidad de una reacción catalizada por una enzima sólo dentro de límites definidos. Inicialmente la velocidad de reacción aumenta con un incremento en la temperatura hasta un óptimo, pero a temperaturas superiores disminuye eventualmente a cero. En general a temperaturas cercanas a 45°C se produce un aumento en la velocidad de reacción, pero temperaturas superiores a esta temperatura favorecen la desnaturalización de la proteína y la actividad de la enzima disminuye gradualmente. La mayoría de las enzimas son inactivadas casi instantáneamente por exposición a temperaturas cercanas a 100°C.
Dos parámetros son necesarios para caracterizar la estabilidad térmica de una enzima, uno es la velocidad de inactivación a una temperatura dada, expresada como la constante de velocidad de inactivación a una temperatura (k), dado por la energía de activación (Ea) o el valor de z (Anthon y Barrett, 2002).

Las constantes de velocidad k para inactivación de primer orden a diferentes temperaturas, pueden ser determinadas de las pendientes de los tiempos de inactivación de acuerdo a siguiente ecuación:

$$\ln \frac{A}{A_0} = -kt \qquad (14)$$

donde A_0 es la actividad enzimática inicial y A es la actividad después del tiempo de tratamiento t. Las pendientes de estas líneas se determinan por regresión lineal, donde k es el valor positivo de la pendiente obtenida.

Ea es la energía requerida para tener las moléculas en un estado activo, al efectuarse una reacción enzimática y cuando el valor de Ea es menor que el de la desnaturalización de las proteínas, indica que a medida que aumenta la temperatura por encima de un valor

crítico, la velocidad catalítica de la enzima es menor que la velocidad de desnaturalización e inactivación; por debajo de dicha temperatura crítica, el proceso se invierte, y aumenta la estabilidad y actividad de la enzima (Badui, 1999).

La energía de activación se calcula de la pendiente de la gráfica de Arrhenius de acuerdo a la ecuación siguiente.

$$\ln(k) = -\frac{Ea}{R}\left(\frac{1}{T}\right) \qquad (15)$$

donde R es la constante de los gases ideales (1.987 cal mol^{-1} K^{-1}) y T es la temperatura en °K. Las pendientes se calculan por regresión lineal, y dicho valor se multiplica por R para obtener Ea, con el valor de Ea y k, se puede recalcular nuevamente la k a cualquier temperatura con la relación siguiente:

$$\ln k = \ln(k_o) - \left[\left(\frac{Ea}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right)\right] \qquad (16)$$

A temperaturas de procesamiento relativamente bajas, la velocidad de destrucción para las enzimas es mayor que para los microorganismos, pero conforme la temperatura del proceso aumenta, la velocidad de destrucción para microorganismos aumenta más rápidamente que para las enzimas. Sin embargo, existen algunas temperaturas a las cuales la velocidad de destrucción para las enzimas resistentes al calor es igual a la de microorganismos que son usados como base de un proceso térmico. Sin embargo, a temperaturas superiores a ésta, la inactivación de la enzima es menor que la de los microorganismos. Si esto no es considerado en el procesamiento de productos que contengan enzimas resistentes al calor, la calidad del producto puede ser deteriorada durante el almacenamiento debido a actividad enzimática residual (Anónimo, 1969).

4.7.2 Efectos del pH sobre las enzimas

Por lo general, los pH extremos inactivan las enzimas, estas suelen presentar máxima actividad a determinado valor de pH, que recibe el nombre de pH óptimo, la mayoría de

las enzimas presentan máxima actividad en un intervalo que va de 4.5-8.0, y según la enzima, la actividad puede corresponder a una curva sigmoidea o a una curva de campana. La actividad enzimática acostumbra a disminuir de manera irreversible, a valores de pH extremos debido a la desnaturalización proteica, no obstante existe un intervalo de pH de inactivación reversible, esto incluye claramente la ionización reversible de grupos funcionales en el centro activo o en zonas que controlan la conformación enzimática.

El pH óptimo de una enzima puede ser el resultado de un verdadero efecto reversible del pH sobre la velocidad máxima de la reacción, un efecto del pH sobre la afinidad del sustrato por la enzima o un efecto del pH sobre la estabilidad de la enzima (Badui, 1999).

4.7.3 Pectinasas

La textura de las frutas y verduras se debe a la presencia de pectinas que actúan como parte de la pared celular. Las pectinasas son polímeros de hidratos de carbono complejos que forman bloques estructurales, y cuyo principal papel es dar rigidez a la pared celular de frutas. Durante la extracción del jugo por procedimientos mecánicos o físicos, dichas pectinas que forman las paredes de las frutas se aglomeran formando sistemas coloidales en el jugo o néctar. La clarificación natural es un proceso lento y dependiente del tipo de fruta, por lo que es recomendable la acción de las enzimas pectinolíticas o pectinasas para permitir que el material suspendido flocule y sea separado mayoritariamente por filtración del jugo o néctar. Sin embargo, después de este proceso se requiere de un tratamiento térmico que inactiva las enzimas degradativas de pectinas, para evitar una excesiva degradación y la generación de otros problemas de calidad como la formación de nubes o una excesiva clarificación que provoca cambios en sabor, color y en la consistencia del producto final. El tratamiento enzimático varía con el tipo y características de la fruta (Jiménez, 1983).

4.7.4 Pectinesterasa

La pectinesterasa actúa sobre las pectinas que componen la pared celular de las frutas al hidrolizar sus enlaces éster metílico provocando la liberación de metanol y ácido poligalacturónico, siendo la enzima más abundante e importante en las frutas junto con la poligalacturonasa, cuya acción conjunta en la maduración de frutas provoca que el fruto adquiera una textura más adecuada para su consumo, pero una excesiva actividad de éstas provoca ablandamiento, pérdida de textura y propicia las condiciones para el ataque microbiano, perdiendo con mayor facilidad las características sensoriales (Badui, 1999).

Por otro lado, en los productos de frutas como jugos y néctares, la viscosidad y consistencia se debe a las pectinas en suspensión que se liberan de sus tejidos en el proceso de extracción; la acción de la pectinesterasa causa la hidrólisis de las pectinas, desestabilizando sus propiedades y provocando entre otras la precipitación de compuestos, llevando a la pérdida del sabor y olor característico del producto, tales pérdidas de calidad son rechazadas por el consumidor, por lo que es necesario la inactivación enzimática con tratamiento térmicos dependientes de la concentración de sólidos o los grados Brix° y el pH debido a que los sólidos tienen un efecto protector sobre la enzima (Marshall et al., 1985) la actividad residual de la enzima se usa como índice de la eficacia del calentamiento, y se define como el número de miligramos de metoxilos liberados por gramo de sólidos solubles (Badui, 1999).

4.8 Degradación de atributos sensoriales y nutrimentales durante el tratamiento térmico

Los efectos del tratamiento térmico sobre los atributos sensoriales se ponen de manifiesto en el color, textura, sabor y aroma y pueden tener lugar a lo largo del tratamiento térmico o durante el almacenamiento, como consecuencia de la severidad del tratamiento recibido, del pH, del contenido de iones metálicos o de otros factores, tales como la temperatura de almacenamiento, presencia de luz, cantidad de oxígeno disuelto o permeabilidad de los gases del empaque utilizado (Rodrigo et al., 1980c).

El sabor y aroma de los alimentos sometidos a tratamientos térmicos se modifica por el efecto de la cocción. Hay muchos alimentos ácidos, por ejemplo las frutas, que requieren de poca cocción, ya que lo que interesa es conservar al máximo su aroma y sabores naturales. La cocción inadecuada ocasiona efectos indeseables sobre el sabor, olor y otros factores de calidad que pueden deberse a las siguientes causas:

- Oscurecimiento debido a reacciones de Maillard entre aminoácidos y azucares reductores a consecuencia de los cuales pueden producirse importantes alteraciones en el sabor y olor de las frutas sometidas a tratamientos de pasteurización.
- Caramelización causada por el efecto del calor sobre los azúcares y otros compuestos que además de provocar coloraciones oscuras, alteran el sabor y aroma.
- Oxidación y polimerización del ácido ascórbico, con el desarrollo de aromas y sabores impropios del alimento.
- Polimerización de aldehídos que provocan también compuestos oscuros y sabores extraños.

4.8.1 Color

El color es parte de la percepción humana de la apariencia; esta influenciada por un gran número de atributos físicos de los alimentos así como de una serie de percepciones psicológicas (Francis, 1983). Desde el punto de vista físico, el color es la distribución de la energía de una luz reflejada o transmitida por un alimento, mientras que la definición química implica la absorción de energía que corresponde al espectro visible, la cual contribuye a la percepción del color (Francis, 1983; Jiménez y Gutiérrez, 2001).

Entre los procedimientos para medir el color en alimentos se cuenta con métodos comparativos (comparación visual con una colección de colores patrón y el alimento) e incluyen el sistema Munsell, el Atlas de Ostwald, el Atlas DIN y el Atlas de Maerz y

Paul; y los métodos instrumentales: espectofotométricos, colorímetricos triestímulo, colorimétricos visuales (sustractivos o aditivos) (Jiménez y Gutiérrez, 2001).

En el sistema hunter se estableció un intercambio entre los receptores de la luz en la retina y del nervio óptico encargado de transmitir las señales de color al cerebro. Debido al mecanismo de intercambio las respuestas del rojo se comparan con las del verde resultando una dimensión de color de rojo a verde, de igual forma ocurre con el azul y el amarillo. Estas dos dimensiones se representan con los parámetros a y b y una tercera dimensión es L, luminosidad, la cual no es lineal (Jiménez y Gutiérrez, 2001). Para definir y cuantificar los cambios de color durante los diferentes tratamientos se hace uso comúnmente de tres términos: ΔE (cambio neto en color), H (tono o hue) y C (chroma o saturación). El tono es el atributo por el cual se define el color, rojo, amarillo, verde, azul. La saturación es la proporción del contenido cromático en la percepción total (Little, 1976).

Los colores de los alimentos se deben a distintos compuestos, principalmente orgánicos, algunos se producen durante su manejo y procesamiento, y otros que son pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos (Badui, 1999). Durante el procesamiento de los alimentos pueden ocurrir ciertos cambios como pérdida de color o aparición de colores extraños. Las reacciones más comunes son el oscurecimiento enzimático, la caramelización y la reacción de Maillard. Dichas reacciones se pueden ver favorecidas por el pH y acidez del producto, contenido de humedad, presencia de oxígeno, metales pesados, presencia de proteínas y azúcares, el material de empaque y la duración y temperatura de su almacenamiento (Ahmed y Shivare, 2001).

El color de los tejidos de las frutas sufre cambios durante el almacenamiento del fruto fresco, pero sobre todo durante su procesamiento. Estos cambios, que la mayor parte de ellos son no deseables, son provocados por la acción de las enzimas que se avivan con la temperatura y algunos por procesos químicos, dentro de estos procesos se incluyen la

autooxidación de los fenoles durante un prolongado procesado térmico, caramelizaciones parciales, reacciones de oscurecimiento enzimático y no enzimático.

Los procesos de pasteurización pueden afectar la calidad final del producto, provocando cambios en el color y la pérdida de sabores y aromas característicos (Silva y Silva, 1999). El cambio en color es una herramienta que permite evaluar la calidad de los alimentos tratados térmicamente. Para optimizar dichos procesos, es importante conocer los parámetros cinéticos (orden de la reacción, constante de velocidad de reacción, energía de activación) para el cambio en color. La cinética de color de los alimentos es un fenómeno complejo y existen varios modelos que pueden ser empleados para predecir el cambio experimental de color (Ahmed y Shivare, 2001).

Entre los compuestos de mayor proporción que se encuentran en el tamarindo y que son responsables de su característico color son los taninos, que son una clase de compuestos fenólicos de color amarillo-café. De acuerdo a su estructura y reactividad con agentes hidrolíticos, particularmente ácidos, se dividen en 2 grupos los hidrolizables y los condensados. Los primeros son sustancias poliméricas complejas que contienen ácido gálico unido a una molécula de glucosa, de hecho es una forma para determinar la cantidad de taninos presentes por su equivalente en ácido gálico; los segundos son generalmente dímeros de catecol o de antocianidinas y sirven de sustrato en las reacciones de oscurecimiento enzimático sobre todo en productos como el café y cacao, y que además son responsables de la astringencia de las frutas (Badui, 1999).

El contenido de taninos en el tamarindo es de 158 µg/100 g es de las frutas tropicales con más alto contenido de estos compuestos, sólo superado por la guayaba (190 µg/100 g), en general la mayoría de las frutas tropicales contienen cantidades menores a 40 µg/100 g (Czyhrinciw et al., 1965).

4.8.2 Sabor y olor

El sabor y aroma de las frutas es producto de la mayoría de las sustancias volátiles que componen las frutas, y se encuentran presentes en diferentes proporciones en la cáscara y en los tejidos comestibles de las frutas.

La intensidad del sabor puede depender particularmente de la variedad de la fruta, las condiciones de crecimiento y más aun de su grado de madurez.

Algunas de estas sustancias específicas para cada especie y variedad, aunque algunas otras son comunes en todas las frutas (Czyhrinciw, 1965).

Los compuestos mayoritarios por abundancia encontrados en el tamarindo fueron 5 pirazinas simples y 2 alquitiazoles, compuestos normalmente formados durante el asado de una variedad de alimentos fueron encontrados en el tamarindo. El resultado de estos estudios menciona que el aroma tan característico del tamarindo y sus sabores están relacionados en el aroma que despiden algunos alimentos al ser asados o tostados, por ejemplo el aroma característico que despide el café en el proceso de tostado (Lee et al., 1975).

Aunado a esta serie de compuestos que tienen que ver con el sabor característico del tamarindo, se encuentra el ácido tartárico que además de ser el responsable de la alta acidez de esta fruta, tiene mucha importancia en el acentuado sabor agridulce de la fruta.

Existen varios trabajos de referencia a la biosíntesis de este ácido en el tamarindo, Warner y Loewus (1973) resumieron el ciclo de producción de este ácido tal como se muestra en la figura 4.1

Figura 4.1 Biosíntesis del ácido tartárico en el tamarindo

En la última reacción participa la enzima racemasa tartárica como catalizador de la reacción de síntesis del ácido tartárico, cabe mencionar que es la única enzima en el proceso metabólico de la biosíntesis del ácido en tamarindo, identificada por Rajan et al. (1961).

La serie de reacciones también muestra en parte del por qué el tamarindo es una fruta con muy bajo contenido de vitamina C, ya que entre otros es usado en la ruta metabólica de conversión del ácido mayoritario presente en la fruta, en estudios de Hernández (1980) se menciona que la acidez continúa aumentando 2 semanas después del corte de la fruta, mencionando también que el contenido de ácido ascórbico se ve sumamente desfavorecido.

El tamarindo está clasificado como el fruto mas ácido y al mismo tiempo uno de los más dulces, finalmente teniendo un fruto con un sabor muy agridulce (Cooembe, 1976).

Debido a la gran variedad de sabores que muestran las frutas tropicales se han propuesto diferentes clasificaciones de acuerdo a los sabores básicos que vienen determinados principalmente por los componentes que le confieren los sabores a las frutas Mosqueda et al.(1967) realizó una clasificación de algunas frutas tropicales de acuerdo a su sabor (Tabla 3.4), la cual propone que cada fruta se clasifique de acuerdo a un número arbitrario que consiste de 3 dígitos, el primero de ellos representa la acidez, calculada como porcentaje de ácido cítrico; el segundo la astringencia calculada como porcentaje de ácido tánico; y el tercero dulzura, calculado como porcentaje de dextrosa. El rango para cada dígito es de 1 a 9, siendo 9 el valor máximo tolerable de sabor, el cual no cause fatiga al paladar. De acuerdo a la escala, es posible clasificar a las frutas en 4 grupos: simple (menos de 300); moderado (300-500); acentuado (500-800); finalmente penetrante (más de 800). Esta clasificación relaciona si la fruta tiene que ser procesada con la adición o no de agua o algún tipo de compuesto que permita diluir el sabor, como es el caso del 4 grupo de la tabla 4.4.

Tabla. 4.4 Clasificación de algunas frutas tropicales por su sabor

Fruta	Valor de sabor
Sabor simple (0-300)	
Papaya	122
Zapote	132
Pera	143
Sabor moderado (300-500)	
Plátano	314
Mango	312
Guayaba	472
Sabor acentuado (500-800)	
Piña	512
Manzana	582
Uva	654
Sabor Penetrante (>800)	
Maracuyá	>922
Tamarindo	>976

Fuente: Mosqueda et al. (1967).

4.8.3 Evaluación sensorial

La percepción del sabor de un alimento es la suma de las diferentes sensaciones originadas en el estímulo de los receptores del gusto y el olfato. La aceptación de un alimento depende de sus propiedades sensoriales más importantes entre las que mencionamos el color como primer contacto, posteriormente el sabor, olor, textura y en algunas ocasiones el sonido que emite durante su consumo. El color y sabor son las características que tiene mayor influencia sobre la aceptabilidad de un alimento (Stillman, 1993), por lo que en gran medida el rechazo o aceptación de ellos tiene que ver con la percepción de los consumidores, pasando a segundo plano el sabor y aroma del alimento. Cada alimento tiene una determinada capacidad para provocar las

diferentes sensaciones (dulce, salado, astringente, etc.) durante su consumo y por ello es muy importante llevar a cabo análisis sensoriales que permitan cuantificar su poder o intensidad (Badui, 1999).

La evaluación sensorial es un método que permite medir, analizar e interpretar las reacciones producidas en los sentidos por las características de un alimento (Stone y Sidel, 1993). La evaluación sensorial es una técnica que analiza la respuesta humana producida por un alimento minimizando la posible sugestión por efecto de una marca u otra. Es una ciencia cuantitativa en donde se obtienen datos numéricos que permiten establecer una relación entre las características del producto y la percepción humana (Lawless y Heymann, 1999).

4.8.3.1 Prueba triangular

Es un método de evaluación sensorial comparativo que tiende a identificar la preferencia o diferencia de muestras de alimentos con respecto a otras dos, regularmente se utiliza esta técnica para la evaluación de bebidas, ya sea para considerar algún nuevo ingrediente con repercusiones en su sabor o en general para evaluar las diferencias sensoriales de los alimentos.

Las evaluaciones sensoriales por métodos de diferencia son realizadas con la finalidad de evaluar por jueces entrenado o sin entrenar, si existen diferencias en las características sensoriales (color, olor y sabor) de los alimentos. Las pruebas triangulares se efectúan para determinar si los evaluadores son capaces de diferenciar una muestra con respecto a las otras dos, ignorando la muestra patrón o estándar como en las evaluaciones dúo o trío.

4.8.4 Vitamina C (Ácido ascórbico)

4.8.4.1 Generalidades

Uno de los aspectos más importantes de los alimentos es su contenido en vitaminas y minerales. Desde el punto de vista químico se conocen 13 compuestos reconocidos

como vitaminas que tienen estructuras químicas orgánicas muy diferentes. No fue sino hasta los inicios de la década de los veinte cuando se propone utilizar una nomenclatura a base de las letras del alfabeto A, B, C, D, E, la cual sigue vigente para nombrar a las vitaminas más importantes encontradas en los alimentos (Badui, 1999).

El ácido ascórbico o vitamina C es un compuesto muy soluble, que posee a la vez propiedades ácidas y reductoras. Estas características se deben a su estructura de enediol, que se encuentra conjugado con el grupo carbonilo en el anillo lactona (Fennema, 1985), es una vitamina que el cuerpo humano no es capaz de sintetizar por lo que es necesario consumirla ya sea de las frutas o vegetales, pues es indispensable para la actividad óptima de muchas enzimas involucradas en reacciones de hidroxilación así como en el metabolismo de varios nutrientes y agentes farmacológicos.

El ácido ascórbico actúa directamente como antioxidante y se encarga de formar compuestos para inhibir la formación de nitrosaminas carcinogénicas. La ingesta diaria recomendada es de aproximadamente 50 mg (Badui, 1999). Se añade a los productos de frutas como ácido o como la correspondiente sal sódica, ascorbato de sodio, la cual actúa como nutrimento, antioxidante y conservador.

4.8.4.2 Estabilidad y contenido en el tamarindo

La vitamina C se puede usar como un índice de la retención de nutrientes durante el tratamiento térmico, ya que se considera como la más reactiva y labil de las vitaminas (Moser y Bendich, 1991), pues si ésta resiste el procesamiento térmico y el almacenamiento, los demás nutrientes se verán poco afectados. La pérdida de vitamina C en los alimentos genera en muchas de las ocasiones oscurecimiento, debido a la oxidación que presenta este compuesto a la temperatura, luz, pH, la disponibilidad de oxígeno, presencia de metales y ciertas sales, la presencia de otras vitaminas como la riboflavina asi como a ciertas enzimas específicas entre las que podemos citar a la fenolasa, peroxidasa, ácido ascórbico oxidasa, además compuestos tales como los

taninos y fenoles (que se presentan cantidades considerables en el fruto) pueden inducir la oxidación de la vitamina (Lewis and Neekalantan, 1964).

El tamarindo es un fruto con contenido de vitamina C sumamente bajo, FAO (1997) reporta que depende mucho de la región donde se ha cultivado el fruto y de las características de crecimiento del fruto, en general el contenido de vitamina para el tamarindo oscila entre 2 y 10 mg/100 g de porción comestible.

Hernández (1980) menciona que el contenido de vitamina C difiere según las características de crecimiento del árbol, aunque destaca que debido a las condiciones fisiológicas y bioquímicas del fruto es sumamente dificil encontrar algunas variedad en México que contenga cantidades por encima de los 8 mg/100 g de porción comestible.

Para demostrar que el contenido de vitamina C en el tamarindo con respecto a otras frutas tropicales es bajo se muestra la siguiente tabla comparativa.

Tabla. 4.5 Contenido de vitamina C en algunas frutas tropicales

Fruta*	Contenido**
Guanábana	26
Guayaba	218
Mango s/madurar	128
Mango maduro	53
Papaya	46
Plátano	25
Piña	61
Tamarindo	6

*Frutas venezolanas **mg de vitamina C/100 g de porción comestible

4.9 Optimización de los procesos de pasteurización de los productos de frutas

La optimización tiene como objetivo establecer el baremo al cual el alimento estará sometido al tratamiento térmico para no provocar cambios en color y sabor y mantener

la calidad nutritiva a la par de conseguir la estabilidad microbiológica y enzimática, minimizando los costos de producción de los productos tratados térmicamente (Rodrigo et al., 1980a).

Para el desarrollo de unas condiciones de pasteurización óptimas, hay que considerar:

- Definir los objetivos que se pretenden alcanzar.
- Conocer la cinética de destrucción de los diferentes factores de referencia (microorganismos, enzimas, atributos sensoriales o concentración de algún nutriente de interés).
- Conocer la distribución y evolución de temperaturas en el alimento durante el proceso, es decir, la penetración de calor la cual depende en gran medida del tipo de fluído y del tipo de equipo de pasteurización que se utilice.
- Aplicar el sistema de cálculo de baremos más adecuado.
- Selección del equipo más adecuado y las condiciones optimas de pasterización que cumplan con los objetivos establecidos (Rodrigo y Safón, 1982; López 1987).

Para la definición del objetivo, en cada caso habrá que fijar el factor de reducción de la contaminación microbiana que se desea obtener o el porcentaje de inactivación enzimática o la retención del factor de calidad que se quiere alcanzar. En cualquier caso, esto se puede describir mediante una cinética de primer orden, en donde la pérdida del factor después de un tratamiento a una temperatura fija guarda una relación logarítmica con la cantidad o concentración inicial del factor.

El calor afecta a los alimentos, inactivando microorganismos y enzimas presentes y alterando el valor nutritivo y la calidad sensorial. Para cuantificar estos defectos térmicos es necesario conocer la cinética del proceso y su efecto sobre cada uno de los factores involucrados: microorganismos, enzimas, nutrientes o atributos sensoriales.