

CAPITULO IV

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1.PIÑA

4.1.1 Generalidades

La piña (*Ananas comosus*) pertenece a la familia de las Bromeliáceas, es una fruta compuesta que se caracteriza por su apariencia herbácea. Las hojas largas, delgadas espinosas están dispuestas en forma de roseta basal sobre un pseudo-tronco generalmente muy corto. Es de clima ecuatorial y tropical húmedo, aunque ciertas variedades se adaptan a climas tropicales secos, (Berbeau, 1987). Éstas son producidas en lugares libres de frío en trópicos y subtropicos de 33° N a 33° 58' de latitud. Los países con mayor producción son Hawái, México, Costa Rica, Brasil, Kenia, Filipinas, entre otros. Siendo los países con mayores exportaciones Filipinas, Costa de Marfil, Costa Rica y República Dominicana (Paull, 1997).

La mejor calidad de los frutos se obtienen entre 300 y 900 m sobre el nivel del mar. La temperatura ideal es de 25°C con poca variación entre día y noche, y pluviosidad de 1500 a 2000 mm bien distribuidos en todo el año. En tierras altas y en zona subtropical el ciclo de producción se alarga, requiere suelos livianos, frescos y permeables con pH ácido (Berbeau, 1987).

El fruto es una sorosis o sincarpio, rico en fibra y β -carotenos, pobre en lípidos y proteínas, se origina en el desarrollo partenocárpico de los ovarios, las brácteas y los sépalos de las flores. Tiene forma ovalada-cónica, pesa de uno a tres kilogramos, es rodeado en base por esquejes llamados “esquejes basales” y lleva en su ápice un esqueje llamado “esqueje de corona” o “corona”. La porción no comestible, representa un 41% del fruto, entre cáscara, corazón y corona (Berbeau, 1987). No tolera las heladas ni la exposición excesiva a bajas temperaturas por lo que las producciones se limitan a los meses más calurosos del año. Por ser un fruto climatérico su cosecha se debe de realizar antes de la maduración. Durante el proceso de maduración, el color de la fruta va de verde a amarillo. El color de la cáscara no indica el grado de madurez de la fruta y éste se detecta tocando la fruta u oliéndola (Macrae *et al.*, 1993).

El rango de temperaturas óptimas de almacenamiento recomendadas es de 7.5-12 °C con humedades relativas de 70-95%. Para transportes a grandes distancias se recomienda la refrigeración a 7° C no mayor de cuatro semanas, pues pueden sufrir daños por frío provocando la aparición de manchas pardas en el centro de la fruta. La refrigeración; mantiene la frescura, textura, sabor, color además de reducir el deterioro por microorganismos (Paull, 1997).

Una enfermedad bastante común es la pudrición del corazón y las raíces causada por mohos del género *Phytophthora*. En caso de infestación en las raíces las hojas cambian del color verde al amarillo y luego rojo y se marchita. La enfermedad puede progresar y afectar el corazón. La pudrición negra de los frutos causado por el moho *Thielaviopsis paradoxa* afecta los frutos próximos a madurar o ya cosechados. El patógeno penetra por el

pedúnculo del fruto por medio de heridas laterales durante el manejo. En algunos casos la enfermedad contamina la planta entera provocando una pudrición blanda en la base de los tallos y manchas blancas en las hojas (Berbeau, 1987)

4.1.2 Variedades

Las variedades de piña se clasifican en 5 grupos de acuerdo a sus características botánicas: “Cayenne”, “Queen”, “Spanish”, “Pernambuco” (“Abacaxi) y “Perolera” (Py *et al.*,1984).

La piña que actualmente se cultiva en todo el mundo se agrupa en 3 grandes grupos:

- Grupo Cayenne
- Grupo Queen
- Grupo Spanish

Grupo Cayenne

“Cayena lisa” es la principal variedad cultivada a nivel mundial. Sus frutos son cilíndricos, de tamaño mediano (peso promedio 2.268 kg) y la pulpa amarilla. Las hojas de color verde pálido no tienen espinas excepto en la punta. Presenta buenas aptitudes para la industria (Py *et al.*, 1984).

Grupo Queen

A este grupo pertenecen varios cultivos ; Queen Conde de París, Natal Queen, Papley Queen, etc. El tipo Queen se caracteriza por un desarrollo vegetativo inferior a Cayenne

lisa; tiene hojas cortas, fuertemente espinosas (con la punta de las espinas recurvadas) de color verde menos definido que Cayenne lisa, con extremidades rojizas y flores de color lila.

Los frutos están situados en la cima del pedúnculo corto (7 a 12 cm) con peso promedio de 1.3 kg. Las bayas, muy características, por su tamaño pequeño. En su madurez el fruto es dorado, la pulpa menos coloreada que la Cayenne, con menos contenido de acidez, la planta es menos sensible a enfermedades.

Grupo Spanish

Este grupo esta representado por Red Spanish muy común en la región del caribe (Cuba, Puerto Rico y México). Se caracteriza por sus hojas largas, estrechas, espinosas, de color verde oscuro, con una banda central rojo cobriza.

El fruto tiene forma de manzana muy grande (casi con igual diámetro que altura) posee bayas planas y grandes y frecuentemente irregulares, la pulpa es de color amarillo pálido y es muy fibrosa, el peso promedio es de 1.5 kg.

4.1.3 Composición bioquímica

La piña es rica en carotenos y azúcares. El contenido total de los azúcares permanece constante después de la cosecha, la acidez y el contenido de carotenos incrementa moderadamente y la concentración de ésteres y el color aumenta considerablemente. El

sabor de la piña depende totalmente del contenido de azúcares totales, este se puede ver afectado por la estación, el clima, el grado de madurez en la cosecha y las sustancias utilizadas para su crecimiento (pesticidas, hormonas)(Macrae *et al.*, 1993). En la tabla I se muestra el contenido nutrimental de la piña.

Tabla I. Contenido nutrimental de la piña (var. Smooth cayenne).

		Cantidad por 100 g de porción comestible
Contenido energético	kJ	218
Agua	g	86.00
Proteína	g	0.50
Lípidos	g	0.20
Carbohidratos	g	13.50
Fibra	g	0.50
Cenizas	g	0.30
Minerales:		
Calcio	mg	18.00
Hierro	mg	0.30
Magnesio	mg	12.00
Fósforo	mg	12.00
Potasio	mg	98.00
Sodio	mg	1.00
Vitaminas:		
Ácido ascórbico	mg	21.00
Tiamina	mg	0.09
Riboflavina	mg	0.04
Niacina	mg	0.24
Vitamina A	UI	5.30

Fuente: Wenkam (1990).

4.2 Guayaba

4.2.1 Generalidades

La guayaba (*Psidium guajava*) es una fruta climatérica, pertenece al orden de los Myrtales, que se compone de cinco familias: *Myrtaceae*, *Lecythruidaceae*, *Melastomacetae*, *Combretaceae* y *Rhizophocaceae* (Reko, 1946). La familia *Myrtaceae* está representada por cerca de 3000 especies de árboles y arbustos que prosperan en la mayor parte de las áreas tropicales y subtropicales del mundo. En Europa está representada sólo por una planta: el mirto que es un arbusto de la región mediterránea, pero en la América tropical y Australia abundan las especies, y en los países de África y Asia escasean (Carnevali, 1976). En México se distribuye en 27 estados. El principal productor es Aguascalientes, seguido por Zacatecas, Oaxaca y Guerrero, que aportan el 56.7%, 11.7%, 8.6% y 5.6% de la producción, respectivamente (SARH, 1978).

El género *Psidium* comprende aproximadamente 150 especies, algunas de las importantes son: *P. cattleianum* Sabine, *P. cattleianum* var. *lucidum*, *P. Friedrichalianum* y *Psidium guajava* L. (Campbell, 1977).

El guayabo se adapta con facilidad a distintas condiciones climáticas pese a su origen tropical; sin embargo, su área ecológica se encuentra en la faja paralela al ecuador, con límites que no van más allá del paralelo 30° de cada hemisferio. Los más altos rendimientos, se obtienen con una temperatura media anual de 23 a 28°C; sin embargo, el guayabo puede tolerar temperaturas de 45°C o más (Villaseñor, 1977).

El guayabo es, generalmente, un árbol bajo o un arbusto arborescente de 3 a 10 m de altura. Las hojas son de color verde claro u oscuro; ovales, oblongas u oblongoelípticas; entrecruzadas o dísticas hacia el ápice de las ramas. Existen de 10 a 25 pares de nervaduras laterales y prominentes de color amarillo verdoso, que se unen por arriba y se arquean por abajo. Las flores son hermafroditas y pediceladas, nacen solitarias o en grupos de dos a tres, en las axilas de las hojas que se encuentran en los crecimientos del año o de la estación en curso (Ochse, 1976).

El fruto es carnoso en algunas especies, mientras que en otras es seco. Esta característica determina la división de la familia en dos subfamilias: Myrtoidea y Leptospermoidea, respectivamente (González *et al.*, 1971), aunque la familia también incluye algunas plantas aromáticas de valor económico (Nikasone, 1978).

El fruto es una baya esférica, globulosa, elipsoidal o piriforme; sus dimensiones varían enormemente de una variedad a otra; es averrugado o liso, densamente punteado, brillante, con 5 a 12 cm de largo y 5 a 7 cm de ancho; su peso va de 30 a 225 g. La baya en el exterior presenta un color amarillo verdoso y amarillo claro en su plena madurez; en algunos tipos se distingue un tinte ligeramente rosado en el lado expuesto. El color de su carne es muy variable: puede ser blanco, blanco amarillento, rosado, amarillo, naranja y salmón (Ochse, 1976). El fruto varía de casco delgado con muchas semillas a casco grueso con pocas semillas. En la epidermis y el mesocarpio se hallan células duras, esclereidas, solas o en grupos, que le dan la consistencia arenosa característica; en el centro se encuentra una masa de material pulposo, donde se encuentran depositadas las semillas (Dupaigne, 1978).

El sabor de la fruta completamente madura es dulce y ligeramente ácido y algo aromatizado, el aroma distintivo varía de fuerte y penetrante a moderado y agradable (Malo, *et al.*, 1968)

4.2.2 Composición bioquímica

Se reportan once terpenos de guayaba y se menciona su posible importancia en el sabor y la atracción de insectos. El mayor componente es el β -cariofileno (95%); se sugiere que este puede desempeñar un papel importante en la producción del aroma (Wilson *et al.*, 1978).

Torline, citado por Dupaigne (1978), encontraron e identificó por cromatografía, al menos 37 constituyentes volátiles, muchos de los cuales se encuentran también en frutos de otras especies. También se ha obtenido una concentración superior a los 200 μg de componentes de aroma de fruto fresco. La esencia de la fruta contenía 52 componentes principales de los cuales 39 ya habían sido reportados. De los componentes identificados, 55% eran ésteres; los más representativos fueron: etil acetato(25%), etil hexanato (15.5%) y el etil butanato (8.7%). Detectaron dos hidrocarburos monoterpenos, que constituyeron el 1.5% de la esencia; dentro de ellos encontraron ligeramente más humuleno que β -cariofileno (Macleod *et al.*, 1982).

4.2.3 Contenido nutrimental

El compuesto principal en esta fruta es el ácido ascórbico; su contenido es mayor en la cáscara que en la pulpa y en el corazón. En su composición son importantes algunos ácidos

orgánicos; entre ellos se encuentran: láctico, málico, cítrico, galacturónico, glicólico y fumárico. Algunos ácidos orgánicos como el cítrico, el málico y el fumárico, son comúnmente empleados para el control del pH de algunos productos; de aquí surge la necesidad de conocer las formas y las cantidades de los ácidos presentes normalmente en los frutos de guayabo (Chan *et al.*, 1971).

El amplio uso del fruto en la dieta se justifica por su aceptable valor nutritivo. La composición química varía grandemente entre los cultivos y entre localidades (Sinha, 1977). En la tabla II se muestra el contenido nutrimental de la guayaba.

Tabla II. Contenido nutrimental de la guayaba (guayaba manzana).

Componente	Contenido por Porción de 100 gr
Energía Total	46.0 calorías
Humedad	81.2 g
Proteína	1.1 g
Grasa	0.2 g
Carbohidratos	10.0 g
Fibra	6.8 g
Volátiles	0.7 g
Calcio	33.0 mg
Fósforo	15.0 mg
Hierro	1.2 mg
Sodio	23.0 mg
Potasio	12.0 mg
Beta caroteno	60.0 ug
Vitamina B1	0.10 mg
Vitamina B2	0.05 mg
Niacina	1.1 mg
Vitamina C	160.0 mg

Fuente: FAO, 2003

La temperatura óptima de almacenamiento va de 8-10°C para guayabas verde-maduras y parcialmente maduras con una vida potencial de almacenamiento de 2 a 3 semanas; 5 a 8°C para guayabas completamente maduras con vida potencial de almacenamiento de una semana y humedades relativas óptimas de 90 a 95%. (Kader, 2002).

Las tasas de respiración y producción de etileno dependen del cultivo y del estado de madurez fisiológica y de consumo. La producción de etileno a 20°C varía de 1 a 20 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$. El etileno a 100 ppm por 1 a 2 días puede adelantar la maduración de las guayabas del estado verde maduro al completamente amarillo a 15-20°C y 90-95% de humedad relativa. Este tratamiento da lugar también a una maduración más uniforme, característica que es más importante en las frutas destinadas al procesamiento. Las guayabas verde-inmaduras (sin madurez fisiológica) no maduran apropiadamente y adquieren una textura o consistencia pastosa (Kader, 2002).

Los síntomas de daño por frío incluyen incapacidad de las guayabas en estado verde-maduro o con parcial madurez de consumo para madurar normalmente, pardeamiento de la pulpa y, en casos severos, de la piel y un aumento en la incidencia y en la severidad de las pudriciones cuando se les transfiere a temperaturas más altas. Las guayabas en plena madurez de consumo son menos sensibles al daño por frío que las que se encuentran en estado verde-maduro y se les puede conservar hasta por una semana a 5°C sin mostrar síntomas de esta fisiopatía. Las guayabas son sensibles al daño físico durante la cosecha y en todas las operaciones de manejo desde el campo hasta el consumidor. Los síntomas incluyen abrasiones y pardeamientos de las áreas magulladas,

escaldado por el sol. En algunos países se les cubre con bolsas de papel para protegerlas de la radiación solar y del ataque de insectos mientras se desarrollan en el árbol (Kader, 2002).

La mayoría de los problemas con enfermedades postcosecha empiezan en la huerta como infecciones latentes en las frutas en desarrollo. Las enfermedades incluyen: antracnosis causada por *Colletrotrichum gloeosporioides* y especies asociadas, pudrición causada por *Aspergillus niger*, *Mucor hiemalis*, *Phomopsis destructum* y *Rhizopus stolonifer*. Las estrategias para el control de enfermedades incluyen: buena sanidad de las huertas, manejo eficiente para reducir infecciones precosecha, manejo cuidadoso para reducir los daños físicos, inmediato enfriamiento a 10°C y subsecuente mantenimiento de esta temperatura a través de todo el sistema de manejo (Kader,2002).

La guayaba es uno de los hospederos preferidos por las moscas de la fruta y se le debe desinfectar para ser aceptada en muchos países. Uno de los tratamientos para el control de insectos es el calor aplicado por inmersión de las frutas en agua a 46°C por 35 minutos o por contacto de la fruta con aire caliente a 48°C por 60 minutos. Otro tratamiento potencial para el control de insectos es la irradiación a 0.15-0.30 kGy (Kader, 2002).

4.3 MANGO

4.3.1 Generalidades

El mango (*Mangifera indica*) pertenece a la familia de las dicotiledóneas Anacardiaceae, es originario del sur y sureste de Asia. En cuanto a producción y

popularidad es una de las frutas tropicales más importantes ya que posee un color y sabor atractivo además de tener múltiples propiedades nutricionales (Somogyi *et al.*, 1996).

El árbol de mango es una planta de hoja perenne que puede alcanzar en los trópicos hasta 40 m de altura , pero en los subtropicos difícilmente supera los 10 m. Presenta un tronco monopódico con un desarrollo de flujos rítmicos que produce una ramificación verticilar y subverticilar. En condiciones naturales posee una raíz principal pivotante y un sistema de raíces alimenticias superficiales cuya concentración es máxima en los primeros 250 cm de suelo (Mostert y Abercrombie, 1988). Las hojas son alternas, dispuestas en espiral, simples, enteras, algo coriáceas, de forma variable entre elípticas y lanceoladas y oscilan entre 8 y 40 cm de longitud. El color de las hojas jóvenes varía en gran parte según los cultivos, pudiendo utilizarse éstas para la identificación varietal (Lahav, 1970). Las flores del mango son pequeñas y pentámeras (5 sépalos pequeños y verdes y 5 pétalos pequeños de color variable pero de tonos rojos, verdes o amarillos). Ambos tipos de flores (masculinas y hermafroditas) poseen un estambre fértil con un filamento de color blanco, una antera rosada y cuatro estaminoides (Randhawa y Damodaran, 1961).

Se considera una fruta climatérica, posee un mesocarpio comestible, fibroso o no (según cultivares), de grosor variable según cultivos y condiciones de cultivo y con un sabor que se extiende en una amplia gamma desde trementina hasta dulce pasando por diversos grados de acidez. El exocarpio es grueso y glanduloso, mientras que el endocarpio es grueso y fibroso. Los frutos de mango varían en peso desde 200 g hasta 2 kg y en forma desde redonda hasta ovoide, arriñonados y a veces aplanados lateralmente y en color entre

verde, amarillo y distintas tonalidades de rosa rojo y violeta, la pulpa es de color amarillo a naranja (Galán, 1999).

Debido a que el mango es una fruta climatérica presenta un estado de rápida maduración con un incremento en la velocidad de respiración y producción de calor y etileno lo cual resulta un ablandamiento de la fruta, desarrollo de sabor, color y conversión de almidón y ácidos carboxílicos a azúcares (Athey y Ahrust, 1996). Para controlar esta rápida maduración es conveniente que se almacene a temperatura entre 10 y 13 °C con la finalidad de alargar la vida de anaquel de la fruta. No se debe almacenar a temperaturas menores para evitar los daños por frío que pueden causar el oscurecimiento de la pulpa, áreas de color grisáceo, claramente definidas y algo hundidas en la piel maduración anormal, mayor sensibilidad a infecciones, más rápido deterioro, pobre color y sabor y aparición de manchas en la piel.

Los mangos son además susceptibles a daños causados por hongos, bacterias y larvas de *Colleotrichum gloesporides* y *Anastrepha spp* los cuales son responsables de las manchas oscuras que se forma en las superficies de los mangos (Díaz *et al.*, 1996).

El mango se cultiva en climas tropicales y subtropicales y requiere un área cuya precipitación anual exceda los 750 mm, con una estación seca de 4 a 5 meses, entre noviembre y marzo y no tiene requerimientos especiales en cuanto al suelo. El mango se ha cultivado con éxito a altitudes desde el nivel del mar hasta 1500 m a pesar de que crece mejor a menos de 600 m.

4.3.2 Variedad *Ataulfo*

Esta variedad tuvo su origen en Tapachula Chiapas, México como resultado de un injerto de 5 variedades de mangos cuya finalidad era obtener una sola variedad con características mejoradas.

Entre las características de esta variedad se tienen: hueso (o semilla) muy delgado, pulpa no fibrosa, sabor dulce y color atractivo (casi anaranjado en estado maduro), vida de anaquel de hasta 16 días a una temperatura de 13 °C.

La temporada de cosecha es de finales de febrero a agosto y los principales productores de mango *Ataulfo* son los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Ramírez, 2000).

4.3.3. Composición bioquímica

La composición del mango varía de acuerdo a la variedad de que se trate, las condiciones de cultivo, el estado de maduración en la cosecha y postcosecha, y la temperatura de almacenamiento (Chan, 1988). La fruta consta de una piel externa (8-22%), una parte comestible (55-75%) y un hueso (7-23%) (Jagtiani *et al.*, 1988). En la tabla III se muestran los principales componentes del mango.

Tabla III. Composición bioquímica del mango.

Azúcares ^a	Sacarosa (74.1%), fructosa (20.6%) y glucosa (5.3%)
Ácidos orgánicos ^b	Cítrico(61%), málico (24%), succínico (10%) y urónico (5%).
Aminoácidos (g/100g) ^c	Thr (0.019), Trp (0.008), Ile (0.018), Leu (0.031), Lys (0.041), Met (0.005), Phe (0.017), Tyr (0.010), Val (0.026), Arg (0.019), His (0.012), Ala (0.051), Asp (0.042), Glu (0.060), Gli (0.021), Pro (0.018), Ser (0.022).
Fibra dietética ^d	Celulosa (0.67%), hemicelulosa (0.37%) y lignina (0.43%), fibra enzimática insoluble (1.07%), fibra enzimática soluble (0.63%).
Pigmentos ^e	Carotenoides: β -carotenos (50.6%), fitoflueno (11.7%), auraxantina (11.4%), <i>cis</i> -violantina (7.1%), fitoeno (6.3%).
Compuestos volátiles ^f	Terpenos : car-3-eno, α -copaeno y etil dodecaenato
Enzimas ^g	Polifenoloxidasa, pectinestearasa, poligalacturonasa, peroxidasa, α -amilasa, invertasa

^aChan and Kwok (1975), ^bShashirekha and Patwardhan (1976), ^cGebhardt *et al.* 1982, ^dLund and Smoot (1982), ^eSubbarayan and Cama (1970), ^fMacLeod and Pieris (1984), ^gBrekke *et al.*, 1975.

4.3.4 Contenido nutrimental

El mango en general es una excelente fuente de vitaminas A y C, contiene un alto contenido de azúcar (15-20%) y una baja acidez (0.2-0.5%). Sin embargo, su composición

varía notablemente dependiendo de la variedad (Jagtiani *et al.*, 1988). En la tabla IV se muestra la composición nutrimental del mango (variedad *Kent*).

Tabla IV. Contenido nutrimental del mango (var. *Kent*)

Componente	g/100g	Componente	mg/100g
Agua	81.85	Ácido ascórbico	80.0*
Grasa	0.08	Riboflavina	0.06
Cenizas	0.32	Niacina	0.42
Acidez ^a	0.24	Tiamina	0.06
Proteína	0.46	Calcio	8.73
Almidón	0.74	Fósforo	10.18
Azúcar	12.36	Hierro	0.16
		Sodio	0.84
Caroteno	5169 IU	Potasio	115.00

^a Calculado como g ácido cítrico/100 g. Datos de Beyer *et al.* (1979).

* FAO (2004).

4.4 Color de las frutas

Los pigmentos predominantes en la piña, guayaba y mango son los carotenoides que son los responsables de la coloración amarillo-naranja, una gran proporción de ellos se encuentra en las hojas verdes que sólo hacen su aparición en el invierno cuando la clorofila que es mucho más abundante, desaparece. Los carotenos son divididos en dos grandes grupos tales como carotenos y xantofilas. Los carotenos tienen características de hidrocarburos; entre los que destacan los α , β , γ -carotenos y el licopeno. Las xantofilas son la forma oxidada de los carotenos y se presentan como ácidos, aldehídos y alcoholes. El color de estos grupos se debe a la conjugación de los dobles enlaces, así como a la

presencia de los anillos extremos (si existen); en estado natural, sus instauraciones tienen una configuración *trans* y en algunos casos se presentan isomerizaciones *cis*. Cuando son modificadas las estructuras, provocan cambios muy notorios en el color. El β -caroteno tiene dos grupos ionona cíclicos unidos a través de una cadena intermedia isoprenoide con nueve enlaces dobles conjugados que contribuyen a la estabilidad y al color ; la abertura de los anillos o el aumento de la conjugación produce un cambio hacia el rojo, mientras que la epoxidación o la pérdida de dicha conjugación cambia a los amarillos (Badui,1999).

4.5 Procesamiento de las frutas

Estas frutas pueden ser procesadas en dos estados: las frutas verdes se emplean para hacer encurtidos, productos deshidratados, salsas y condimentos; la fruta madura se utiliza para obtener productos como puré, almíbares, jugos y néctares.

4.5.1 Purés de frutas

Este producto es el más común ya que además de consumirse como tal puede ser empleado para la elaboración de mermeladas, jaleas, bebidas, productos lácteos y de panadería.

Los pasos que se realizan para la obtención del puré son:

- **Lavado**

Los mangos se lavan con agua corriente y de preferencia con cepillo y jabón para remover impurezas y cualquier materia extraña.

- **Pelado**

Este se puede realizar a mano, pelado por congelación, pelado con agua caliente y pelado con vapor. Los más utilizados son los dos últimos mencionados. El pelado en agua caliente los mangos se sumergen en agua a 90°C durante 5 minutos en un proceso tipo batch, cambiando el agua intermitentemente para que se evite una contaminación cruzada. El pelado con vapor se aplica a la fruta en una campana convectiva a presión atmosférica por 2-3 minutos. La fruta caliente se enfría en baño de agua. Después del tratamiento se hace una pequeña incisión en la fruta y la cáscara se retira a mano.

- **Pulpeado**

En esta parte se tiene como finalidad separar la pulpa del hueso, cáscaras residuales y una gran parte de fibra. Para obtener una pulpa más suave y fácil de tratar térmicamente se puede hacer pasar por un tamiz con poro de diámetro menor a 0.5 mm para remover la fibra restante. El rendimiento varía dependiendo del grosor de la cáscara y el tamaño de la semilla. Generalmente es el 70% del peso de la fruta.

Dependiendo de la variedad, prácticas de cultivo, clima, estado de madurez al momento de la cosecha y manejo y almacenamiento postcosecha, la composición de la pulpa para la elaboración de purés varía considerablemente. Normalmente el contenido de sólidos solubles totales se encuentra dentro del rango de 15-20°Brix, pero se han reportado algunos valores entre 4-27°Brix.

Los valores reportados para acidez titulable varían en un rango entre 0.1% y 1.1% y los valores de pH entre 2.6 y 5.8. Por seguridad y con el propósito de conservar la calidad, es recomendable bajar el pH del puré preparado con fruta con un contenido de acidez bajo a valores de pH de 4.0 mediante la adición de ácido cítrico antes del tratamiento térmico.

4.6 Aplicación de métodos de conservación

Los purés de frutas normalmente se conservan mediante un tratamiento térmico seguido de un almacenamiento en refrigeración o congelación. Algunas veces se conserva por congelación sin ningún tratamiento térmico o por procesamiento aséptico, empacado y almacenado a temperatura ambiente.

Antes del procesamiento de los puré se remueve el aire mediante la aplicación de vacío. Existe una gran cantidad de procedimientos para la aplicación de tratamientos térmicos en la industria. Un procedimiento muy popular que permite obtener un producto de calidad, consiste en calentar el puré fresco a 95°C por 2 minutos en un intercambiador de calor, enfriar rápidamente, empacar, congelar y almacenar a -18°C o menos (Somogyi *et al*, 1996^b).

4.7 Néctar de frutas

Es un producto pulposo o no pulposo, sin fermentar pero fermentable, destinado al consumo directo, obtenido mezclando el zumo (jugo) de fruta y/o toda parte comestible molida y/o tamizada de frutas maduras y sanas concentradas o sin concentrar, con agua, azúcar y/o miel y conservado por medios físicos exclusivamente (FAO,2004).

Se puede obtener directamente de la fruta fresca o a partir del puré de mango. Además contiene otros ingredientes como agua, azúcar y ácido cítrico. Un néctar típico de mango tiene de 20-30% de puré, 12-18°Brix, un pH alrededor de 3.5 y una acidez titulable entre 0.2-0.3%. También se puede adicionar carboximetilcelulosa u otra goma como estabilizante.

El primer paso en el procesamiento del néctar es mezclar todos los ingredientes. La mezcla se puede filtrar a través de un tamiz de alrededor de 0.124 mm para una consistencia más suave. El tratamiento térmico se puede hacer de diversas maneras como el llenado en latas y tratamiento térmico se realiza a través de una retorta, por medio de pasteurización flash, y pasteurización de placas entre otros (Somogyi *et al.*, 1996^b).

4.8 Tratamiento térmico

Se entiende por pasteurización y esterilización comercial a la aplicación de un proceso térmico a un alimento con el cual se logra conseguir la estabilidad y comestibilidad del alimento destruyendo todos los microorganismos patógenos en el alimento y aquellos patógenos deteriorativos que puedan crecer durante el almacenamiento y transporte (Rees y Bettison, 1991).

Puesto que el alimento no es estéril, la pasteurización se debe de usar en combinación con otras técnicas de conservación tales como fermentación, refrigeración o también se puede usar en productos tales como jugos de frutas de alta acidez donde el ambiente no es particularmente adecuado para el crecimiento de microorganismos patógenos y

deteriorativos. La observación importante es que los procesos de pasteurización son generalmente diseñado para inactivar células vegetativas o microorganismos patógenos (Lund, 1977).

El propósito de los tratamientos térmicos es alargar la vida de anaquel del alimento para asegurar una fuente alimenticia nutritiva y agradable; un objetivo muy importante de los procesos térmicos debe ser, por lo tanto, maximizar la retención de nutrimentos y las características sensoriales deseables (Lund, 1977).

La mayoría de las veces se aplican tratamientos térmicos muy severos con el fin de asegurar la estabilidad microbiológica de los alimentos afectando al mismo tiempo la calidad sensorial y el nivel nutrimental del alimento (Somogyi *et al*, 1996^a).

Para considerar el grado de tratamiento térmico se deben considerar tipo y termorresistencia del microorganismo, esporas o enzimas de importancia presente en el alimento, pH del alimento, condiciones de almacenamiento, propiedades termofísicas del alimento, tamaño y forma del empaque (Nath y Ranganna, 1980).

4.8.1 Cinética de destrucción de microbiana, inactivación enzimática y degradación de los factores de calidad

4.8.1.1 Generalidades

Para establecer un esquema de procesamiento térmico que considere un tiempo de calentamiento adecuado a una temperatura específica se debe determinar la velocidad de destrucción del microorganismo, inactivación enzimática o degradación del factor de

calidad a evaluar bajo las condiciones de proceso. Además se debe de conocer la dependencia en temperatura del parámetro a evaluar para analizar el efecto de destrucción-inactivación-degradación a través de un perfil de temperaturas que depende principalmente del tiempo de subida (CUT) requerido para alcanzar la temperatura del proceso (Somogyi *et al.*, 1996^a).

Los microorganismos son la causa inmediata de las 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 responsables del deterioro de productos conservados por procesos térmicos (Rodrigo *et al.*, 1980). En jugos y néctares de frutas, las bacterias ácido lácticas presentan poca resistencia térmica por lo que se requiere un tratamiento térmico ligero para asegurar su estabilidad microbiológica (Jay, 2000).

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 de diferentes especies de microorganismos a una misma temperatura, o la resistencia de una especie a diferentes temperaturas (Somogyi *et al.*, 1996^a).

De acuerdo al pH del producto, se determina la severidad del tratamiento térmico. En los alimentos que se consideran de baja acidez, pH mayor a 4.5 se requiere la destrucción de las bacterias patógenas, en cambio en alimentos ácidos, pH menor de 4.5 se desea la destrucción de microorganismos deteriorativos y la inactivación de enzimas. El pH

de la mayoría de las frutas se encuentra en valores cercanos a 4.5 por lo que son susceptibles a ser atacadas por microorganismos deteriorativos. Las frutas, también pueden contener enzimas tales como peroxidasa, polifenoloxidasas, o pectinestearasa que son las que muestran una termorresistencia elevada, especialmente la peroxidasa (Rahman, 1999).

La destrucción de microorganismos e inactivación de enzimas siguen en general una cinética de reacción de primer orden (Jay, 2000):

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

rearrreglando:

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

Donde:

N = concentración o número de microorganismos, enzimas o factor de calidad

k = constante de proporcionalidad

$-\frac{dN}{dt}$ = proporción a la cual decrece el número de microorganismos, enzimas o atributo de calidad

Integrando la ecuación (2) entre los límites N_0 al tiempo 0 y N al tiempo t :

Se tiene:

$$-\ln N \int_{N_0}^N = kt \int_0^t \quad (3)$$

Sustituyendo se tiene:

$$-\ln N + \ln N_0 = kt \quad (4)$$

Donde:

$$k = \frac{\ln N_0 - \ln N}{t} = \frac{2.303}{t} * \log\left(\frac{N_0}{N}\right) \quad (5)$$

rearrreglando la ecuación (5):

$$t = \frac{2.303}{k} * \log\left(\frac{N_0}{N}\right) \quad (6)$$

Donde:

N_0 = número inicial de microorganismos, enzimas o factor de calidad inicial

N = número de microorganismos sobrevivientes o factor de calidad 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 o atributo dado.

Es decir, cuando $N = N/10$ y sustituyendo en la ecuación (6), el tiempo $t = D$

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

Si se sustituye la ecuación (7) en la (6) se tiene:

$$t = D * \log\left(\frac{N_0}{N}\right) \quad (8)$$

El tiempo necesario para que N_0 / N se reduzca hasta un valor determinado a consecuencia de un tratamiento a temperatura constante T se designa F:

$$F = D \log\left(\frac{N_0}{N}\right) \quad (9)$$

A esta ecuación (9) se la conoce como la primera ley de la destrucción térmica de microorganismos. Las curvas de destrucción térmica reflejan la resistencia relativa de los

microorganismos a diferentes temperaturas. Se construyen al graficar el logaritmo de D contra la temperatura. El valor de z se usa en los métodos de cálculos de proceso para ver la variación de la velocidad de destrucción térmica con la temperatura:

$$(\log D - \log D_0) * z = (T - T_0) \quad (10)$$

Donde:

D = tiempo de reducción decimal a la temperatura T

D₀ = tiempo de reducción decimal a la temperatura T₀

Eliminando logaritmos, reorganizando y multiplicando por ambos lados de la ecuación por el log N₀/N :

$$D * \log\left(\frac{N_0}{N}\right) = D_0 * \log\left(\frac{N_0}{N}\right) 10^{\left(\frac{T-T_0}{z}\right)} \quad (11)$$

Sustituyendo ecuación (9) en (11) y considerando T = T_{ref} se tiene:

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

El valor de la esterilidad F_T a la temperatura T, es 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) es conocida como la segunda ley de cinética de termorresistencia de microorganismos. Estas mismas consideraciones pueden hacerse para otros factores,

además de microorganismos , como puede 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.

4.8.2 Penetración de calor

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 del producto 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 y muy viscosos. En la convección, la transmisión del calor se lleva a cabo por el desplazamiento de materia y este es el 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 es el caso de los líquidos (Rodrigo *et al.*, 1980)

La penetración de calor por conducción es lenta y el producto que está junto a las paredes se calienta sufriendo intensamente la acción degradante del calor si no se esteriliza en condiciones adecuadas y selectivas (Rodrigo y col., 1980). 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 consistencia y naturaleza del alimento, la geometría y tipo del material de envase, el grosor de las paredes del mismo y la temperatura inicial del producto afectan la velocidad de transferencia de calor.

4.8.3 Métodos de cálculo en procesos de pasterización

4.8.3.1 Método general

Este método fue descrito por Bigelow *et al* (1920), y consiste esencialmente en un procedimiento gráfico de integración de los efectos letales de varias combinaciones de tiempo-temperatura existentes en el alimento enlatado durante su procesamiento térmico. Este método gráfico es aplicable cuando se conocen las condiciones de tiempo de alcance de temperatura de la 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.

4.8.3.2 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 presentada 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 esporas dado a esas temperaturas de las curvas TD. En consecuencia; la letalidad (L) aplicada es el producto de la 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 presentada por la curva TD (Stumbo, 1973). La letalidad (L) también puede calcularse mediante la siguiente fórmula (Ball, 1928).

$$L = 10^{\frac{(T-T_{ref})}{z}} \quad (13)$$

Donde:

T = cualquier temperatura letal

T_{ref} = 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 la letalidad en las ordenadas correspondiente a sus tiempos. El área bajo la curva se expresa directamente en unidades de letalidad, la porción de enfriamiento de cualquier curva de letalidad dada se desplaza de derecha a izquierda hasta obtener un 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).

4.8.3.3 Método de la fórmula

Ball (1923) desarrolló un método matemático para evaluar la letalidad del tratamiento térmico. Este método tiene ventajas sobre el método general pues una vez obtenidos los datos de penetración de calor y los factores que se obtienen mediante este método, se puede aplicar a procesos semejantes del mismo producto donde se tienen condiciones diferentes de procesamiento como la temperatura de la retorta y/o la temperatura inicial del producto, o bien cambios en el tamaño de envase. Las ventajas de este método en comparación con el método general es que se obtienen datos de penetración de calor y los factores obtenidos pueden aplicarse a procesos semejantes del mismo producto aún en condiciones de procesamiento diferentes.

El método de la fórmula considera también el CUT (Come Up Time) o tiempo de alcance de la temperatura de trabajo que es el tiempo en el que la temperatura de la retorta alcanza la temperatura de proceso. Generalmente se considera que el 40% del tiempo total del CUT tiene efecto letal.

4.9 Microbiología de las frutas y productos de frutas

La mayoría de las bacterias son inhibidas por los bajos valores de pH que se encuentran de manera natural en las frutas, pero los mohos, las levaduras y las bacterias ácido lácticas y ácido acéticas son organismos acidúricos y se pueden encontrar en alimentos de alta acidez, ambientes tolerables y adecuados para su desarrollo. El pH es el factor más importante que determina el tipo de microorganismos que pueden deteriorar frutas y productos de frutas (Spittsoesser, 1987; Jay, 2000). Los principales microorganismos de

deterioro en productos de frutas son los mohos y las levaduras y en productos de frutas sometidos a tratamientos térmicos ligeros para asegurar la estabilidad microbiológica.

En los productos de frutas, las levaduras son los microorganismos que mejor cubren las necesidades en lo que se refiere a pH, condiciones nutritivas y de oxígeno, ya que son los microorganismos que más fácilmente crecen y se multiplican en estos alimentos. Las levaduras originan turbidez, sedimentos y velos y sus productos metabólicos, sobre todo alcohol etílico y CO₂, originados de la fermentación de los azúcares y especialmente la presencia de *Saccharomyces* y *Pichia* que pueden presentarse en las distintas fases de la elaboración de los jugos, aunque frecuentemente sean responsables de fermentaciones durante el almacenamiento y manipulación de los mismos. Las levaduras osmófilas atacan a ciertos jugos concentrados. *Byssochlamys* es el género más común de mohos y más resistente causante del deterioro en productos de frutas, se encarga de la ruptura del material péctico de las frutas y por consiguiente la producción de gas. Las ascosporas de este microorganismo son termorresistentes dando lugar a la alteración de productos de frutas y por su capacidad de desarrollarse en condiciones de óxido reducción bajos (Muller, 1981). Se ha encontrado que las ascosporas de levaduras pueden ser entre 25 y 350 veces más resistentes que las células vegetativas (Put & DeJohg, 1980).

Las bacterias de importancia y más comunes en este tipo de alimentos son los géneros *Leuconostoc* y *Lactobacillus* ya que se consideran las especies más termorresistentes caracterizadas con valores D₁₅₀ de 1 min y valores de z de alrededor de 10 °F. *Bacillus coagulans* reporta valores D₂₅₀ 0.01 a 0.07 min y valores de z de 14 a 18°F y *Clostridium*

pasteurianum D_{212} de 0.10 a 0.50 min con un valor z de 12 a 16°F son otros de los microorganismos importantes en alimentos ácidos (Stumbo, 1973).

Dependiendo de las características del alimento que se desea conservar utilizando tratamientos de pasterización, se han seleccionado diferentes microorganismos indicadores en base a los cuales son diseñados los procesos. El microorganismo indicador en alimentos de baja acidez ($\text{pH} > 4.5$) es *Clostridium botulinum*. En alimentos ácidos y de alta acidez, se emplean microorganismos que son menos resistentes que las esporas de *Clostridium botulinum*, pero que son más resistentes que la microflora natural que pueda estar presente en este tipo de productos. Los microorganismos indicadores más empleados son *B. coagulans*, *B. polymixa*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Clostridium pasteurianum*, *Clostridium butiricum* y diferentes especies de *Lactobacillus* (Rodrigo *et al.*, 1980).

4.10 Enzimas pécticas

4.10.1 Generalidades

La textura es un atributo de calidad muy importante en los alimentos. En las frutas y en los vegetales, la textura se debe primeramente a carbohidratos complejos: sustancias pécticas, celulosa, hemicelulosa y lignina. Hay una o más enzimas que actúan sobre cada uno de los carbohidratos complejos que son importantes para la textura de los alimentos (Fennema, 2000).

Hay descritas tres clases de enzimas pécticas que actúan sobre las sustancias pécticas. Dos se encuentran en plantas superiores y en los microorganismos: la pectinmetilesterasa y

poligalacturonasa y el tercero se encuentra en los microorganismos, especialmente en microorganismos patógenos que infectan a las plantas (Whitaker, 1990).

Las enzimas pécticas se encuentran en plantas superiores y microorganismos. Estas enzimas son de importancia comercial ya que se utilizan en la elaboración de jugos y bebidas para ayudar a la filtración, clarificación y así aumentar el rendimiento. Así mismo, se utilizan en la producción de pectinas de bajo metoxilo y ácido galacturónico.

La presencia de enzimas pécticas en frutas y verduras puede provocar un ablandamiento excesivo de las mismas. En el caso del jitomate y jugos de frutas, estas enzimas pueden causar la formación de “nube”. Hay diversos grupos de enzimas pécticas que incluyen a la pectinestearasa, la poligalacturonasa y la liasa péctica (deMan, 1999).

4.10.2 Pectinestearasa

La pectinmetilestearasa hidroliza el enlace metiléster de la pectina para dar ácido péctico y metanol. Esta enzima también es denominada pectinesterasa, pectasa, pectin demetoxilasa y pectolipasa. La hidrólisis de la pectina hasta ácido péctico en presencia de iones divalentes, como el calcio, conduce a un incremento de la consistencia debido a la formación de puentes cruzados entre el Ca^{2+} y los grupos carboxilos de ácido péctico (Fennema, 2000).

La pectinmetilestearasa (PE), es una enzima que cataliza la desesterificación del ácido galacturónico en pectinas, liberando metanol; es decir hidroliza los ésteres metílicos de la pectina. Ataca a la cadena de pectina desde el extremo reductor a partir de grupos carboxilo

libres y procede linealmente a través de la molécula dejando bloques sucesivos de residuos de ácido galacturónico con grupo carboxilos libres. Esto provoca la liberación de metanol incrementado la firmeza del tejido (Alzamora *et al.*, 2000; Somogyi *et al.*, 1996^a).

El pH óptimo para las pectinestearasas provenientes de plantas presentes en alimentos hasta el momento estudiadas se encuentran dentro de un rango ligeramente alcalino, pH 7-9 mientras que las provenientes de microorganismos se encuentran del lado ácido. Se considera que las pectinestearasas de plantas atacan a la cadena de pectina desde el extremo reductor o a partir de grupos carboxilo libres y proceden linealmente a través de la molécula dejando bloques sucesivos de residuos de ácido galacturónico con grupos carboxilos libres. A consecuencia de la acción de la PE, se incrementa la posibilidad de que dos cadenas adyacentes de polímeros galacturónicos formen estructuras en presencia del ion calcio (estructura de “caja de huevo”) lo cual incrementa la firmeza del tejido (Alzamora *et al.*, 2000).

Varios de los constituyentes de una reacción enzimática se ionizan o disocian en función del pH. Entre los constituyentes que se pueden ionizar se encuentran el tampón, el sustrato, el cofactor (si se necesita) y los grupos esenciales ionizables del centro activo de la enzima. La asociación / disociación se produce en la unión del sustrato y el cofactor al centro activo. No se puede hacer nada para evitar la ionización del tampón. La fuerza iónica de la solución se debe mantener constante a todos los niveles mediante el uso de NaCl o KCl (Whitaker, 1994). La reacción catalizada por la pectinestearasa se muestra en la figura 4.1

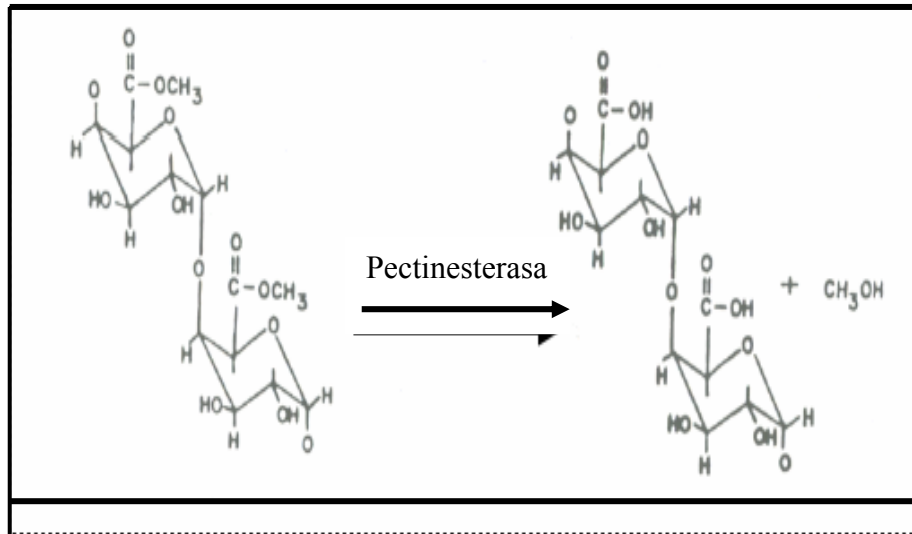


Figura 4.1 Acción de la enzima pectinesterasa
Fuente: Badui (1999).

4.10.3 Inactivación enzimática

Los jugos deben su turbiedad y viscosidad a las pectinas en suspensión que se liberan de sus tejidos en el proceso de extracción; la acción de las pectinasas causa la hidrólisis, la desesterificación y la desestabilización de los coloides, provocando su precipitación y la consecuente pérdida de sus características (Marshall *et al.*,1985).

El consumidor no acepta estos jugos sin su correspondiente turbiedad; por lo tanto, durante su manufactura es necesaria su inactivación enzimática con tratamientos térmicos que dependen del pH: a medida que éste disminuye se reduce la intensidad del calentamiento, aunque en general, para lograr esto basta un minuto a 80-90°C. Además del pH, los grados Brix también influyen definitivamente ya que los sólidos tienen un efecto protector sobre la enzima (Marshall *et al.*,1985).

Para el caso del néctar de piña-guayaba-mango, la pectinestearasa causa problemas de gelación y formación de grumos por lo que es importante su inactivación mediante tratamiento térmico con la finalidad de mantener una apariencia deseable en estos productos (Argaiz, 1994).

La velocidad de desnaturalización de enzimas sigue una cinética de primer orden; por lo tanto, el tiempo requerido para inactivar un porcentaje fijo de la enzima es independiente de su concentración. Sin embargo, si las concentraciones iniciales de enzima activa son diferentes, las concentraciones absolutas finales de la enzima activa serán también diferentes. La presencia de dos o más isoenzimas se refleja en la incapacidad de inactivar cada enzima a 60°C; a 70°C, la lipoxigenasa está completamente inactivada pero la peroxidasa retiene un 40 % de su actividad (Fennema, 2000).

Una meta para la optimización de tratamiento térmico de productos de frutas y verduras con el fin de maximizar la calidad, es desarrollar un modelo que incorpore entre otros parámetros, la cinética de inactivación para enzimas relevantes, para prever los cambios en calidad durante el procesamiento y subsecuente almacenamiento. Se necesitan dos parámetros para caracterizar la estabilidad térmica de una enzima dada, expresada como constante de velocidad y el otro parámetro es una medición de cómo varía la velocidad de inactivación con la temperatura dado por la energía de activación (E_a) o el valor z (Anthon y Barrett, 2002).

Las constantes de velocidad k para la inactivación de primer orden, se pueden determinar de las pendientes de los tiempos de inactivación de acuerdo a la ecuación 14

$$\log\left(\frac{A}{A_0}\right) = -\left(\frac{k}{2.303}\right)t \quad (14)$$

Donde:

A_0 = actividad enzimática inicial

A = actividad después del tiempo de calentamiento t

Las pendientes de estas líneas se determinan por regresión lineal.

La energía de inactivación se calcula de la pendiente de la gráfica de Arrhenius de acuerdo a la ecuación 15.

$$\ln(k) = -\frac{Ea}{RT + A} \quad (15)$$

Donde:

R = Constante de los gases ($1.987 \text{ cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T = Temperatura en K

Las pendientes se calculan por regresión lineal

Con los dos parámetros, Ea y k , la constante de velocidad de inactivación (k) puede calcularse a cualquier temperatura (T) a partir de la ecuación 16.

$$\ln(k) = \ln(k_{ref}) - \left(\frac{Ea}{R}\right)\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right) \quad (16)$$

La inactivación está dada como el valor D, el tiempo requerido para reducir la actividad enzimática al 10% de su valor original.

El valor D está directamente relacionado con la constante de velocidad de inactivación k mediante la ecuación 17.

$$D = \frac{2.303}{k} \quad (17)$$

Argaiz y López-Malo (1996) demostraron que la pectinesterasa es más resistente a las temperaturas en el néctar de mango y papaya que en purés y que esta enzima requiere calor más intenso que para la destrucción de microorganismos deteriorativos.

4.11 Efecto tratamiento térmico sobre la degradación de los atributos sensoriales

Los efectos del tratamiento térmico sobre los atributos sensoriales se ponen de manifiesto en el color, textura, sabor, 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 temperatura de almacenamiento, presencia de luz, cantidad de oxígeno disuelto o permeabilidad a los gases del empaque utilizado (Rodrigo y col., 1980).

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, pues lo que interesa es conservar al máximo su aroma y sabor naturales.

La cocción inadecuada ocasiona efectos indeseables sobre el sabor, olor y otros factores de calidad que pueden deberse a las siguientes causas:

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

Existen algunos reportes en la bibliografía acerca de la dependencia en la temperatura de la degradación de algunos atributos sensoriales y su relación con la inactivación de las enzimas responsables del deterioro en productos de frutas, tales como mandarina, mango, papaya, y guayaba. En estos reportes se ha demostrado que procesos térmicos diseñados para inactivar a la pectinmetilesterasa aseguran la estabilidad microbiológica y cambios mínimos en las características sensoriales (Nath y Ranganna, 1977,1989, 1983; Argaiiz y López- Malo, 1995 y 1996).

4.12 Degradación de los atributos sensoriales y nutrimentales durante el tratamiento térmico

Los cambios más importantes que pueden afectar los atributos sensoriales y las características nutrimentales de productos líquidos sometidos a tratamientos de pasteurización se pueden resumir en (Lewis & Heppell, 2000):

- Cambios en color, en donde el oscurecimiento es de las reacciones que predomina.
- Sabor y olor, cambios en sabor, debido a desarrollo de sabores y olores a oxidado.
- Cambios texturales, tales como sedimentación, espesamiento o gelación.
- Cambios en el contenido de nutrientes, debido principalmente a la pérdida de vitaminas y minerales.

4.13 Color

4.13.1 Generalidades

El color es la sensación experimentada por un individuo cuando la energía en forma de radiación (380-770 nm) le llega a la retina. La radiación electromagnética interacciona con el ojo humano. La sensación de color es tridimensional. El ojo aprecia tres características o atributos bien diferenciados: tono (color, matiz), pureza (intensidad, saturación, croma) y claridad (luminosidad, valor) (Kramer *et al.*, 1962). De ahí que una definición de color sea “la parte de la energía radiante que el humano percibe mediante las sensaciones visuales que se generan por la estimulación de la retina del ojo (Kramer *et al.*, 1970).

El color es una de las características sensoriales más importante de los alimentos, ya que es la primera impresión que usualmente se tiene de un alimento y en gran medida

condiciona su aceptación o rechazo. El color está correlacionado en muchos casos con otras características de calidad tal como la textura, grado de madurez, procesamiento adecuado (Kramer *et al.*, 1962). Su calidad depende del grado de estabilidad de los pigmentos presentes en ellos y de los posibles cambios químicos tales como el oscurecimiento y la caramelización que puedan haberse desarrollado durante el procesamiento y almacenamiento. En el caso de alimentos líquidos claros como aceites y bebidas, el color se debe a la transmisión de la luz, mientras que en alimentos opacos, el color se deriva de la reflexión (deMan, 1999).

La luz puede ser reflejada, transmitida, absorbida o refractada por el objeto iluminado. La luz reflejada se refiere a qué parte de la energía radiante emitida por la fuente de luz es reflejada por la superficie del objeto iluminado. La luz transmitida pasa a través de el objeto, periodo de tiempo en que la luz es refractada y también transmitida; sin embargo, el ángulo de transmisión es diferente del ángulo de incidencia (Kramer *et al.*, 1962).

Cuando los ojos ven un objeto iluminado perciben un color que depende de tres factores: la composición espectral de la fuente de iluminación, las características químicas y físicas del objeto y las propiedades espectrales sensitivas del ojo. Para poder evaluar las propiedades del objeto se deben estandarizar los otros dos factores. Debido a que las características del ojo de las personas es bastante uniforme, es posible remplazarlo por algún sensor instrumental o fotocelda que permita obtener resultados consistentes; por lo que existen varios sistemas de clasificación de color: el más importante es el sistema CIE (Comisión Internacional de l'Eclairage). Otros sistemas utilizados para describir el color de los alimentos son el Munsell, Hunter y Lovibond (deMan, 1999).

4.13.2 Sistema Hunter

El sistema L, a, b de Hunter está basado en la teoría de la visión de los colores opuestos. En esta teoría se asume que existe un estado de intercambio inmediato entre los receptores de la luz de la retina y del nervio óptico el cual transmite las señales de color al cerebro. En este mecanismo de intercambio las respuestas del rojo se comparan con las del verde y dan como resultado una dimensión de color rojo a verde. La respuesta del verde se compara con la del azul para dar una dimensión de color amarillo a azul.

Estas dos dimensiones se representan con los símbolos a y b. La tercera dimensión del color es la luminosidad L, la cual no es lineal. Este sistema puede representarse mediante el espacio de color que se muestra en la figura 4.2

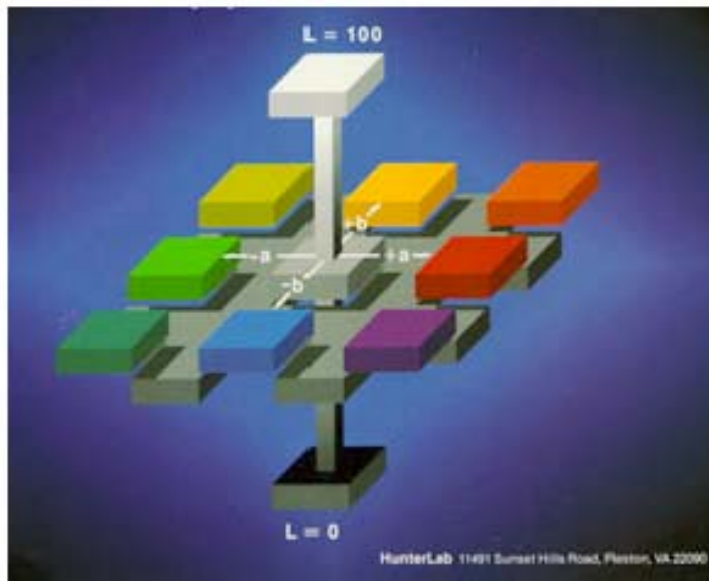


Figura 4.2 Espacio de color del sistema Hunter L, a, b.
Fuente: Hunter Associates Lab. Inc.

4.13.3 Degradación de color

El color es un atributo importante por que generalmente es la primera propiedad que el consumidor observa (Saenz *et al*, 1993). Los colores de los alimentos se deben a distintos compuestos principalmente orgánicos, algunos que se producen durante su manejo y procesamiento y otros que son pigmentos naturales o colorantes sintéticos agregados cuando se someten a tratamientos térmicos, los alimentos desarrollan tonalidades que van desde un ligero amarillo hasta un café intenso, mediante las reacciones de Maillard y de caramelización; en otras ocasiones los alimentos que contienen se alteran y cambian de color (Badui, 1999).

Los alimentos, tanto en forma natural como procesada, presentan un color característico y bien definido mediante el cual el consumidor los identifica ; cualquier cambio que éste sufra puede causar rechazo de los productos. (Badui, 1999).

Existen varios factores que son los responsables de la pérdida del color durante el procesamiento de algunos alimentos. Se incluye oscurecimiento enzimático y reacciones de Maillard, condiciones de proceso tales como pH, acidez material de empaque y duración y temperaturas de almacenamiento (Ahmed y Shivare, 2001).

Los carotenoides son relativamente estables durante el almacenamiento y manejo clásico de casi todas las frutas y hortalizas. Los carotenoides fácilmente se oxidan debido al número de dobles enlaces conjugados que contienen. Tales reacciones producen pérdidas de color de los carotenoides de los alimentos y son el principal mecanismo de degradación. La estabilidad de un pigmento particular a la oxidación depende muchísimo del medio en que se encuentra. Debido a la estructura altamente conjugada e insaturada de los carotenoides, los procesos de su degradación son muy complejos (Peiser y Yang, 1979).

Durante la oxidación, inicialmente se forman epóxidos y compuestos carbonilo. Cuando la oxidación continúa, se forman compuestos mono y dioxigenados de cadena corta, entre ellos la epoxi- β -ionona. Cuando la autooxidación es extensa, ocurre el blanqueo de los carotenoides y la pérdida de color (Peiser y Yang, 1979).

En general, los dobles enlaces conjugados de los carotenoides existen en configuración *trans*. Los isómeros *cis* de unos pocos carotenoides se pueden hallar en los tejidos

vegetales, especialmente en algas, que actualmente se utilizan como fuente de carotenoides. Las reacciones de isomerización son fácilmente inducidas por tratamientos térmicos (O'Neil y Schwartz, 1992).

Aunque históricamente se ha considerado que el caroteno es muy estable durante el calentamiento, ahora se sabe que la esterilización induce a reacciones de isomerización *cis-trans*. Para disminuir la isomerización excesiva, deberá minimizarse la intensidad del tratamiento térmico cuando sea posible. En los casos de cocción por extrusión y el calentamiento a altas temperaturas en aceite no sólo se isomerizan los carotenoides, sino que se produce su degradación térmica. Temperaturas muy altas pueden dar productos de fragmentación que son volátiles (Fennema, 2000).

Los productos que se generan a consecuencia del calentamiento intenso del β -caroteno en presencia de aire, son similares a aquellos que se forman durante la oxidación del β -caroteno a altas temperaturas. Cuando se generan isómeros *cis*, solamente ocurren ligeros desplazamientos espectrales y, por consiguiente, el color del producto apenas se ve afectado; sin embargo, se produce un descenso de la actividad provitamina A (Fennema, 2000). En la figura 4.3 se muestran las reacciones de degradación *cis-trans*.

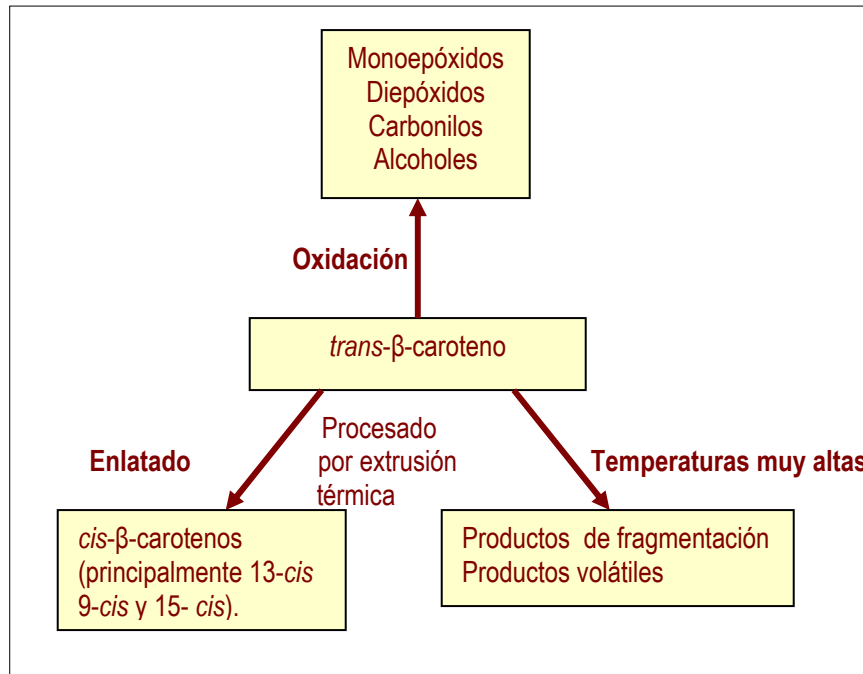


Figura 4.3 Reacciones de degradación *cis-trans*.
Fuente: Fennema 2000.

4.14 Vitamina C

La vitamina C, también es conocida como ácido ascórbico, ácido antiescorbútico. La vitamina C es una acetona cíclica que corresponde a la forma enólica de la 3-ceto-1-gulofuranolactona; contiene un enol entre los carbonos 2 y 3 que la hace un agente ácido y muy reductor, por lo que se oxida fácilmente (Mondy y Leja 1986).

Existen varias sustancias que presentan una actividad biológica de vitamina C; sin embargo, excepto el ácido L-ascórbico y el ácido dehidroascórbico (DHAA) (producto de la oxidación del anterior), las demás tienen una importancia nutricional significativa. Por ésta razón al referirse a la vitamina generalmente se trata del ácido ascórbico que por antonomasia se toma como sinónimo. Cabe indicar que sólo los isómeros L de éstos ácidos

son los que tienen una acción vitamínica y que el ácido dehidroascórbico presenta aproximadamente 80% de la actividad del ácido ascórbico (Mondy y Leja 1986).

4.14.1 Distribución de vitamina C en los alimentos

Las principales fuentes de vitamina C de la dieta son las frutas, hortalizas, zumos y alimentos fortificados. En la naturaleza está presente casi exclusivamente en la forma reducida de ácido L-ascórbico (es decir, AA). La concentración de DHAA en los alimentos es, casi siempre, sustancialmente más bajas que la de AA y depende de las velocidades de oxidación del ascorbato y de la hidrólisis DHAA a ácido 2,3-dicetogulónico (Fennema, 2000).

Ting (1983) reporta para la piña, la guayaba y el mango un contenido de vitamina C de 25, 300 y 20 mg/100g respectivamente. Wenkam (1990) reporta 10 mg/100 g para piña, Beyer *et al.* (1979) reporta 20.05 mg/ 100g para mango, FAO (2003) reporta un contenido de 160 mg/ 100g. Estas variaciones en el contenido de vitamina C se deben a la variedad genética, grado de madurez, clima, luz solar, método de cosecha y almacenamiento entre otros (Macrae *et al.*, 1993).

El contenido de vitamina C en las frutas varía con las condiciones de cultivo, almacenamiento y procesado. Durante el procesamiento ocurren pérdidas considerables en el contenido de esta vitamina debido al cortado y almacenamiento prolongado a temperatura ambiente (Aurand *et al.*, 1987). Como ya se mencionó, la cantidad de vitaminas que contienen los alimentos, varía de manera considerable conforme a muchos factores; por ejemplo, en el caso de las papas, las heridas o cortes que sufren, provocan un

gran aumento en la actividad respiratoria y de la división celular, que van acompañadas de un incremento de la vitamina C. El frío inhibe su síntesis, mientras que la temperatura ambiente y la oscuridad la favorecen (Mondy y Leja 1986). De todas las vitaminas, la vitamina C es la más inestable y lábil, su retención disminuye con el aumento de la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Nagy y Rouseff, 1986).

Su actividad biológica es muy variada y en este sentido es la vitamina que más controversias causa; se sabe que es indispensable para la síntesis del tejido conectivo, formación de huesos, de la dentina de los dientes, entre otros (Clydesdale y Nadeau, 1985). Las deficiencias de esta vitamina en la dieta puede provocar muchos malestares que en estado avanzado se agrupan en la enfermedad llamada escorbuto que vuelve al individuo muy susceptible a contraer diversas infecciones. Cabe mencionar que el humano no sintetiza la vitamina C por lo que requiere consumirla a diario (Rusell, 1986).

Dentro de las recomendaciones de vitamina C permitidas se tienen 60 mg para adultos, 45 mg para niños y 35 mg para infantes (Aurand *et al.*, 1987). Por esta razón, el consumo rutinario de frutas y verduras frescas, aporta la vitamina C requerida diariamente, ya que, al ser hidrosoluble el humano la almacena escasamente. Por ejemplo, el jugo de 1 ó 2 naranjas contiene aproximadamente 80 mg/100g de vitamina C suficiente para satisfacer las necesidades diarias recomendadas (Mondy y Leja 1986).

La vitamina C puede agregarse a los alimentos como ácido no disociado o como sal sódica neutralizada (ascorbato sódico). La conjugación de vitamina C con compuestos hidrófobos confiere al resto del ácido ascórbico un carácter liposoluble, los ésteres de

ácidos grasos como el palmitato de ascorbilo y los acetales de ácido ascórbico son liposolubles y pueden proporcionar un efecto antioxidante directo en los entornos lipídicos (Fennema, 2000).

4.14.2 Degradación de la Vitamina C

Es difícil generalizar el efecto del calor sobre las vitaminas presentes en los alimentos, ya que cada una posee características propias y por lo tanto, reaccionan de manera diferente durante la aplicación de tratamientos térmicos. En general, las pérdidas durante la pasteurización tienen importancia en los productos de fruta y su contenido de vitamina C. La vitamina C tiene gran importancia en los productos de frutas, no sólo por su valor nutritivo, sino también por constituir un índice de apreciación de las pérdidas de otras vitaminas y servir como criterio válido de la conservación de otros componentes sensoriales y nutrimentales como pigmentos naturales y sustancias aromáticas (Rodrigo *et al.*, 1980^b).

En su destrucción, la vitamina C provee grupos carbonilos para que continúe la reacción. En esta serie de transformaciones también se generan diversos compuestos, algunos de bajo peso molecular, que contribuyen al olor característico del alimento que han sufrido esta modificación. Este mecanismo se complica considerablemente si hay azúcares reductores y aminoácidos que favorecen diversas rutas de degradación. Es decir, la pérdida del ácido ascórbico, además de sus consecuencias nutricionales, también lleva consigo (sobre todo en frutas cítricas y sus derivados), una generación de olores indeseables y un oscurecimiento (Tatum *et al.*, 1975).

Roja y Gerschenson (1997) encontraron, que la degradación de ácido ascórbico en sistemas modelo consistentes de ácido ascórbico y glucosa o sacarosa, siguió una cinética de reacción de primer orden.

4.15 Evaluación sensorial

4.15.1 Definición

Es una disciplina científica usada para provocar, medir, analizar e interpretar las reacciones de características de los alimentos y materiales tal como son percibidos por los sentidos de vista, olfato, gusto tacto y oído (Larmond, 1976).

4.15.2 Generalidades

La evaluación sensorial es una serie de técnicas que miden de forma precisa la respuesta humana producida por un alimento o producto, y que además, minimiza la posible sugestión por efecto de una marca u otra información que influya en la percepción del consumidor. Por lo tanto es una ciencia cuantitativa en la cual se obtienen datos numéricos para establecer relaciones legítimas y específicas entre las características de un producto y la percepción humana, en la que se busca aislar las propiedades sensoriales del alimento y proporcionar información útil (Lawless y Heymann, 1999).

Cuando el alimento es evaluado por los jueces se produce una relación estímulo-organismo-respuesta, en donde el alimento genera un estímulo y la respuesta es la interacción provocada en el juez, el cual a través de una escala o número describe la naturaleza del sabor del producto a evaluar. La respuesta se puede ver afectada por varios

factores como la forma en que se presenta la muestra, el ambiente, el propio juez, el cual debe ser imparcial en su respuesta (Macrea *et al.*, 1993).

4.15.3 Prueba Triangular

Es una prueba discriminatoria que consiste básicamente en comparar dos muestras y decir si son diferentes o no; no indican la magnitud ni el sentido de la diferencia, sólo si existe o no. Esta prueba es una de las más simples de realizar y analizar y son fácilmente entendidas por los jueces. Ésta también difiere entre sí en el número de unidades de cada muestra que se presenta simultáneamente y en la existencia o no de una muestra de referencia. La prueba triangular, debido a su eficacia estadística (la probabilidad de acertar por azar es de solo 1/3) y a su facilidad de aplicación se utiliza mucho debido a su simplicidad y aplicación (Larmond, 1976).

4.16 Optimización de los procesos de pasterización en productos de frutas

Para el desarrollo de unas condiciones de pasterización óptimas, hay que considerar (Rodrigo y Safón, 1992; López, 1975):

1. Definir los objetivos que se pretenden alcanzar.
2. Conocer la cinética de destrucción de los diferentes factores de referencia (microorganismos, enzimas, atributos sensoriales o concentración de algún nutrimento de interés).
3. Conocer la distribución y evolución de temperaturas en el alimento durante el proceso, es decir, la penetración del calor la cual depende en gran medida del tipo de fluido y del tipo de equipo de pasterización que se utilice.
4. Aplicar el sistema de cálculo de baremos más adecuado.

5. Selección del equipo más adecuado y las condiciones óptimas de pasteurización que cumplan con los objetivos establecidos.

La optimización de los procesos de pasteurización de los productos de fruta tiene como objetivo diseñar el tiempo 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.*, 1980^a).

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.

Para la optimización de los procesos de pasteurización en base a los cambios sensoriales, es necesario conocer la dependencia de los parámetros sensoriales con respecto a la temperatura (Argaiz y López-Malo, 1996). Así que el parámetro seleccionado para la

optimización debe ser el más termorresistente, ya sea un microorganismo, una enzima o un factor de calidad (textura, sabor, color). Para establecer el proceso a escala comercial se debe de contar con los datos de penetración de calor, las condiciones de procesamiento y los valores D y z de los microorganismos de interés o de la enzima así como de los cambios sensoriales u otros factores de calidad de interés en nuestro producto a tratar.