

CAPÍTULO IV

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Alimento funcional

El concepto de alimento funcional a menudo se cita como una nueva área que emerge de la ciencia y nutrición de los alimentos; sin embargo, este concepto se basa en los avances en el conocimientos y la evolución de la nutrición que ocurrió en el siglo XX (Menrad, 2003). Durante el siglo XX la desnutrición y las deficiencias en los alimentos procesados era la mayor preocupación, a mitad de dicho siglo el interés en los alimentos modificados para corregir problemas públicos asociados a la salud tuvo gran auge, en la mayoría de las situaciones los científicos en alimentos y nutrición se han preguntado cómo el alimento se puede modificar o formular para tener efectos fisiológicos o nutrimentales específicos que mejoren la salud (Schneeman, 2000).

Los alimentos funcionales son aquéllos que contienen ingrediente(s) activo(s), los cuales benefician a una o un número limitado de funciones en el cuerpo proporcionando bienestar y salud en la reducción del riesgo de una enfermedad (Roberfroid, 2000) o aquel alimento que tiene un efecto fisiológico mas allá de su efecto tradicional (Clydesdale, 1997).

En 1984, el concepto de alimento funcional fue propuesto por científicos japoneses estudiando la relación entre nutrición, satisfacción sensorial, fortificación y modulación de sistemas fisiológicos. En 1991, el Ministro de Salud y Bienestar de

Japón (Hosoya, 1998) estableció reglas para la aprobación de alimentos relacionados con la salud (FOSHU, alimento para uso específico en la salud).

En Estados Unidos, en 1990 se instauró el Acta de Educación y Etiquetado Nutricional (NLEA), no obstante el NLEA se cumplió totalmente hasta 1994 cuando se emplearon ingredientes para los cuales la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA) tiene evidencia científica de la correlación entre el producto y la prevención de ciertas enfermedades, sin embargo los alimentos funcionales son una nueva categoría indefinida y es definida como un ingrediente activo “X” seguro (GRAS) o como un aditivo similar a un suplemento alimenticio, legalmente los alimentos funcionales son regulados en los Estados Unidos por 21 CFR §101.71 (Labuza, 2000).

Los componentes de los alimentos funcionales pueden ser probióticos, prebióticos ó macronutrientes, que tienen un efecto fisiológico específico (por ejemplo almidón resistente o ω -3 ácidos grasos) o componentes con un valor nutritivo no esencial por ejemplo: oligosacáridos (Bellisle *et al.*, 1998).

El mercado de los alimentos funcionales crece a una velocidad de 15-20% con ganancias de \$33 billones de dólares (Halliam, 2000). Los alimentos funcionales también son conocidos como: nutraceúticos, alimentos de diseño, alimentos medicinales, terapéuticos o superalimentos (Berner & O'Donnell, 1998).

Entre los alimentos funcionales se encuentran las bebidas funcionales, a base de jugos de frutas ya que aportan beneficios a la salud por encima de los valores nutritivos simples atribuidos al producto convencional, como pueden ser los jugos de

frutas, actualmente existen en el mercado bebidas para deportistas (con sales y minerales, isotónicas, fibra y soya) y enriquecidas (vitaminas, oligosacáridos, betacaroteno, etc.) para disminuir el nivel de colesterol en la sangre y prevenir enfermedades del colon (Davidson *et al.*, 1998).

4.1.1 Ingrediente prebiótico

Una categoría de los alimentos funcionales que tiene gran interés de la población, la industria alimentaria y la comunidad científica son los ingredientes probióticos y prebióticos los cuales, pueden modificar positivamente los procesos fisiológicos y biológicos en la nutrición o como auxiliar en el tratamiento de ciertas patologías humanas (Salminen *et al.*, 1998).

El intestino grueso contiene una variedad de especies de bacterias que son benéficas: *Bifidobacterium*, *Eubacterium* y *Lactobacillus* y perjudiciales: *Clostridium*, *Shigella* y *Veillonella* (Cummins *et al.*, 2001). Aunque esta generalización da probablemente una visión demasiado simple de la microbiología del intestino, es un concepto de trabajo factible para el desarrollo de ingredientes de alimentos funcionales para modular la composición de las colonias microbianas (Roberfroid, 2001). En este contexto el concepto prebiótico, se define como un ingrediente activo no digerible que afecta benéficamente al huésped por la estimulación selectiva del crecimiento y/o activar el metabolismo de una o un número limitado de bacterias en el colon mejorando intrínsecamente la salud del huésped (Gibson & Roberfroid, 1995).

Los criterios para la clasificación de ingredientes prebióticos son los siguientes: resistencia a la digestión, hidrólisis y fermentación de la microflora y la más importante estimulación selectiva de crecimiento de una o un número limitado de bacterias en heces fecales (en humanos). La resistencia a la digestión debería mostrar un modelo adecuado para los pacientes con problemas en el colon: colitis, ulcera y cáncer (Roberfroid, 2001).

4.1.2 Ingrediente probiótico

Ingrediente probiótico se define como un suplemento dietético microbiano viable que tiene efectos beneficiosos en el consumidor gracias a sus efectos en la flora microbiana de la zona intestinal (Glenn *et al.*, 2000; Fuller, 1989). El término probiótico no sólo está limitado a bacterias ácido lácticas, no obstante, las más usadas son las del género *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*. Se pueden encontrar probióticos en alimentos fermentados como yogurt y no fermentados (vegetales, carnes, base de bebidas de leche, etc.). El ingrediente probiótico junto con la flora microbiana refuerza el sistema digestivo creando defensas anti-infecciosas (Brassart & Schiffrin, 1997).

4.1.3 Fibra dietética

El concepto de fibra dietética hace referencia a una variedad de componentes de los alimentos vegetales que procede de las paredes y tejidos de frutas, hortalizas, cereales y legumbres con propiedades físicas y efectos fisiológicos distintos (Periago *et al.*, 1993). En términos generales comprende un conjunto de sustancias de origen vegetal que son resistentes a la digestión por enzimas digestivas humanas pero que

no pueden ser “digeridas” por la flora bacteriana del colon. La degradación de la fibra dietética y de otros compuestos (almidones resistentes, fructooligosacáridos) por las bacterias de colon se denomina fermentación bacteriana (Brassart & Schffrin, 2000).

La fibra dietética adquirió importancia en 1973 cuando Burkitt, propuso la hipótesis de una relación entre la carencia de fibra dieta alimentaria y el desarrollo de ciertas enfermedades y de trastornos fisiológicos. Los nutriólogos en países desarrollados recomiendan una ingesta diaria superior a 20 g/día. En Europa se recomienda una ingesta diaria entre 10-15 g/día, en Estados Unidos el National Center Institute para la prevención de cáncer de colon recomienda 20 g/día, mientras que el *American Dietetic Association* recomienda para los adultos una dieta alta en carbohidratos, baja en grasas y 20-30 g de fibra dietética (Slavin, 1991). Entre las funciones de la fibra dietética se encuentra la prevención de enfermedades crónicas, como lípidos en el suero sanguíneo, control de glicemia, presión arterial, control de peso, efectos gastrointestinales como prevención del cáncer de colon y úlceras (Calixto *et al.*, 2000).

En 1976 Trowell *et al.*, definen la fibra dietética como compuestos de origen natural, suministrándose al organismo por fuentes endógenas con materiales vegetales de la dieta como constituyentes de la pared celular que están integradas por polisacáridos como almidón, celulosa, beta glucanos, hemicelulosa, pectinas y gomas y componentes no polisacáridos como las ligninas que son polímeros de alcoholes fenilpropilos y ácidos.

4.1.3.1 Composición de la fibra dietética

La fibra dietética está formada por los siguientes compuestos:

Celulosa.- Es el principal componente de la pared celular de las frutas y hortalizas, se puede considerar como la molécula orgánica más abundante en la naturaleza, es un polímero lineal no ramificado de varios miles de glucosas unidas por enlaces $\beta(1\rightarrow4)$ glucosídicos. La celulosa posee una gran afinidad por el agua aunque es insoluble en ella, el contenido de celulosa presenta altos valores en frutas y hortalizas del 20 y 31% respectivamente mientras que en cereales de un 17% (Periago *et al.*, 1993).

Hemicelulosa.- Polisacárido compuesto por polímeros de pentosas unido por enlaces $\beta(1\rightarrow4)$, pero a diferencia de la celulosa es más pequeño en tamaño (menos de 200 unidades de azúcares), posee cadenas laterales de arabinosa y una variedad de azúcares (ácido glucorónico y galactosa), entre las hemicelulosas, la hexosa es la más accesible para su asimilación en las bacterias en el sistema digestivo (Roberfroid, 1993).

Pectina.- Macromolécula polisacárida, mayoritariamente presente en los tejidos vegetales, siendo las zonas más ricas en pectina la pared celular primaria y la lámina media de las plantas superiores. En cuanto a su composición, podemos definir las pectinas como polímeros que constan fundamentalmente de cadenas de ácido galacturónico unidas por enlaces glucosídicos $\alpha(1\rightarrow4)$, interrumpidas por la presencia de residuos de L-ramnosa y en menor cantidad D-galactanos y L-arabinanos unidos por enlaces covalentes al galacturonato (Copenhagen Pectin A/S,

1993). El contenido de pectina es mayor en frutas que en hortalizas y cereales (Lanza & Butrum, 1986).

Lignina.- Sustancia cementante intracelular propia de los vegetales, de estructura amorfa y compleja, en sus estructura tiene compuestos fenólicos, polisacaridos, ácido urónico y proteínas. Representa la parte hidrofóbica de la fibra dietética (Periago *et al.*, 1993).

Carragenatos.- Tienen capacidad de formar geles cuando están asociados a determinados iones. Su estructura esta formada por galactanos extraídos de algas rojas, cuyos monómeros, son D-galactosa y 3,6-anhidro-D-galactosa (McPherson, 1982).

Alginatos.- Polisacáridos constituyentes de la pared celular de las algas pardas, formado por monómeros de ácido β -D-manurónico y α -L-gulurónico 1,5 no obstante es variable dependiendo de la procedencia del polisacárido, soluble en agua en forma de sal con metales alcalinos, magnesio, amonio y aminas (Belitz & Grosch, 1988).

Gomas.- Moléculas de alto peso molecular, constituidas por polímeros hidrofílicos unidos por enlaces glucosídicos, pueden estar formados por un solo tipo de monosacárido o por monosacáridos diferentes.

4.1.3.2 Clasificación de la fibra dietética

La fibra dietética, por su composición, se puede clasificar en tres grandes grupos (Madar & Odes, 1990):

1. Fibra vegetal.- Está integrada por los componentes de la *pared celular* de las plantas, como son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina.
2. Fibra dietética total.- Incluye a la totalidad de todos los compuestos, fibrosos o no, que *no son digeribles* por las enzimas del intestino humano.
3. Fibra bruta o cruda.- Es el *residuo libre de cenizas* que resulta del tratamiento en caliente con ácidos y bases fuertes. Constituye el 20-50% de la fibra dietética total. Es un concepto más químico que biológico.

Otra clasificación es aquélla que se basa en el grado de solubilidad de la fibra en el agua y que da origen a la mayoría de las tablas que se usan habitualmente en dietética (Jenkins *et al.*, 2002):

1. Fibra insoluble.- Forma una mezcla de baja viscosidad. Esta característica es propia de la celulosa, la mayoría de las hemicelulosas y la lignina, predomina en algunos granos de cereales: trigo, maíz.
2. Fibra soluble.- Forma una mezcla de consistencia viscosa, cuyo grado depende del alimento ingerido. Se encuentra fundamentalmente en las frutas (naranjas y manzanas) en un 38 % y las hortalizas (zanahorias) contiene un 32 %, expresado como porcentaje de fibra soluble del total de fibra. Incluye pectinas, gomas, mucílagos y cierto tipo de hemicelulosa soluble.

La fibra soluble se caracteriza porque sufre fermentación en el colon con producción de hidrógeno, metano, dióxido de carbono y ácidos grasos que son absorbidos y metabolizados por la flora bacteriana del colon (Saura *et al.*, 1987).

Desde el punto de vista de la *fermentación bacteriana*, existen dos categorías:

1. Fibra poco fermentable.- Es aquella cuyo contenido es rico en celulosa y lignina. Es muy resistente a la degradación bacteriana en el colon y es excretada intacta en las heces. Por ejemplo: salvado de trigo.
2. Fibra muy fermentable.- Posee gran cantidad de hemicelulosa soluble e insoluble, pectinas o almidón resistente. Su degradación es rápida y completa en el colon.

4.1.3.3 Efectos fisiológicos de la fibra

Por su definición la fibra dietética no es absorbida por el sistema digestivo y en investigaciones se ha demostrado que altera el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas, dichos cambios alteran los procesos de la digestión, absorción y en el caso del intestino grueso la fermentación (Aldoori *et al.*, 1998).

Laxante

El efecto laxante es el más conocido y está relacionado con la regularidad de las evacuaciones producido por la fibra, entre los factores que se relacionan con este efecto están ciertas fibras, como la celulosa y el salvado de trigo que son degradadas en forma incompleta por la flora bacteriana del colon, los residuos de la fibra constituyen la materia fecal (Gallaher, 2000).

Fermentación

Los productos más importantes resultantes de la fermentación son los ácidos grasos de cadena corta (SCFAs por sus siglas en inglés) y gases como: H₂, CH₄ y

CO₂. Los SCFAs predominantes son acetato, propionato y butirato, los SCFAs son absorbidos en la mucosa del colon y son una fuente de energía para los microorganismos benéficos del colon (Åkerberg *et al.*, 1998), por esta razón, la fibra dietética es considerada con un valor calórico. El valor exacto de energía que proporciona la fibra dietética es difícil de calcular pero es aproximadamente 6 kJ/g (1.5 kcal/g) cuando el consumo es parte de la comida (Gallaher, 2000). El butirato es el ácido graso de cadena corta más importante para los microorganismos benéficos del colon porque es su nutrimento fundamental y juega un papel fundamental en la estimación del crecimiento y la funcionalidad de la mucosa (Flamm *et al.*, 2001).

4.1.4 Oligosacáridos

En la década de 1990's el grupo de los oligosacáridos no digestibles (NDO por sus siglas en ingles) juega un rol importante como ingrediente prebiótico (Cummings *et al.*, 2001). En la Tabla IV. I (Roberfroid, 1999) se muestra los componentes de los NDO, los cuales se componen de una variedad de monosacáridos unidos por enlaces, la preparación del los NDO se sintetiza a:

- 1) Extracto de la fuente natural (por ejemplo inulina, oligosacáridos de la soya), seguido de la hidrólisis enzimática parcial (por ejemplo xilo-oligosacáridos, oligofruetosa, malto-oligosacáridos)
- 2) Síntesis de disacáridos como lactosa y sacarosa (Van Loo *et al.*, 1999).

Uno de los oligosacáridos más empleados como ingrediente prebiótico es la inulina que es un fructuano compuesto de β -D- fructofuranosas con enlaces $\beta(2\rightarrow1)$, que estimula el crecimiento de *Bifidobacterias* (Sobota *et al.*, 1997).

Tabla IV. I Oligosacáridos no digestibles (NDO)

Nombre	Estructura Química	Enlace	Origen
Fructooligosacáridos (FOS)	Glucosil(fructosil) _n		
Inulina	fructuosa (n=2→20)	β (1→2)	Vegetal
	Glucosil (fructosil) _n		
	Fructuosa fructosil) _m		Vegetal e hidrólisis
Oligofructuosa	fructuosa (n=1→6, m=2→7)	β (1→2)	enzimática de inulina
Neosugar	Glucosil (fructosil) _n fructuosa (n=1→3)	β (1→2)	Síntesis enzimática de la sacarosa
Galactooligosacáridos (GOS o TOS)	Glucosil (galactosil) _n galactosa (n=1→3)	β (1→6)	Síntesis enzimática de la lactosa
Transgalactooligosacáridos	(Galactosil) _n galactosa(n=2)	α (1→6)	Síntesis enzimática de la lactosa
Isomaltooligosacáridos (IMO)	Glucosil (galactosil) _n glucosa (n=2→7)	α (1→4)	Rearreglamiento enzimático de maltosa
Polidextrosa	Ramificaciones aleatorias + ácido cítrico (n=2→100?)	-	Glucosa pirólisis de ácido cítrico
Pirodextrinas	Mezcla completa	-	Pirólisis del almidón de maíz o almidón de papa
Sololigosacáridos (SOS)	Raficosa+amilasa (n=3→4)	-	Síntesis enzimática + Pirólisis
Xilooligosacáridos (XOS)	(Xilosil) _n xilosa (n=2→4)	β (1→4)	

Fuente: Roberfroid (1999).

4.1.4.1 Características del metabolismo de los oligosacáridos

Los oligosacáridos no son hidrolizados por las enzimas digestivas. Los nutriólogos consideraban que los componentes alimentarios que no se digerían deberían ser excretados mayoritariamente en las heces y no servían como fuente de energía. Sin embargo, estudios recientes sobre la utilización y las funciones fisiológicas muestran que los sacáridos no absorbibles y/o no digeribles son metabolizados por las bacterias intestinales (Flamm *et al.*, 2001). En el intestino delgado los oligosacáridos son resistentes a la acción de las enzimas intestinales y pancreáticas. A nivel del intestino delgado ejercen un efecto osmótico por su capacidad de retención de agua, en el intestino grueso son fermentados por las bacterias anaerobias que componen la flora intestinal. Los ácidos grasos de cadena corta que se producen son rápidamente absorbidos y posteriormente metabolizados aportando energía al huésped. Como consecuencia, la microflora intestinal cambia, es decir, el porcentaje de bacterias beneficiosas como las *Bifidobacterias* y *Lactobacillus* aumentan y el porcentaje de microorganismos perjudiciales, como el *Clostridium*, disminuye (Benno *et al.*, 1987).

4.1.4.2 Funciones fisiológicas de los oligosacáridos

Mejoran la microflora intestinal: los oligosacáridos, como los fructooligosacáridos (FOS), oligosacáridos de soya (que contienen rafinosa y estaquiosa), xilooligosacáridos y galactooligosacáridos, tienen la propiedad de no ser digeridos y/o absorbidos en el intestino delgado y alcanzan el intestino grueso donde tienen efecto sobre la microflora intestinal. En contraste a estos oligosacáridos, la sacarosa, maltosa o glucosa, son digeridos y/o absorbidos en el intestino delgado y

no tienen efecto sobre la microflora intestinal al no alcanzar el intestino grueso (Prosky, 1999). Las bacterias intestinales metabolizan a los oligosacáridos rápidamente y producen grandes cantidades de ácidos grasos de cadena corta. Las bacterias beneficiosas: *Bifidobacterias* y *Lactobacillus*, son resistentes al medio ácido, en cambio las bacterias perjudiciales como el *Clostridium*, son sensibles a las condiciones ácidas. Además, la proliferación de *Bifidobacterias* y otras bacterias útiles es estimulada y la de las bacterias perjudiciales se ve dificultada (Hosoya *et al.*, 1988; MacNeil, 1984).

Entre las áreas en alimentos que están teniendo auge entre los consumidores se encuentran las bebidas funcionales a base de frutas tropicales enriquecidas con ingredientes prebióticos y/o probióticos, ya que además de proporcionar sus características organolépticas exóticas pueden aportar beneficios a la salud. Entre las frutas tropicales se encuentra el maracuyá, la cual se caracteriza por su sabor y olor exótico.

4.2 Maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*)

4.2.1 Generalidades

El maracuyá es una fruta tropical de una planta que crece en forma de enredadera y que pertenece a la familia de las Passifloras (*Passifloraceas*) de las que se conocen más de 400 variedades de las cuales sólo 30 son comestibles (Swi-Bea Wu & Ming-Jen, 1996). Una de las posibles explicaciones del origen del nombre de maracuyá es que los indígenas del Brasil llamaron a la fruta “maraû-ya” que proviene

de fruto “marahu”, que a su vez viene del “ma-rá-û” que significa “cosa que se come de sorbo” por lo que la unión de las dos palabras significa “fruto que se come de sorbo”. Al conocerla los colonizadores la palabra se degeneró llegando a la que hoy conocemos: maracuyá también se conoce como Fruta de la Pasión nombre que hace alusión a la pasión o sufrimiento de Cristo, debido a que en el arreglo de las estructuras florales los colonizadores vieron los elementos de dicho suceso y esa estructura se presenta en las diferentes especies que componen en conjunto la familia botánica de las *Passifloras* (Schwentesius & Gómez, 1996).

El nombre científico del maracuyá: *Passiflora edulis* Sims, especifica que su fruto es comestible. Actualmente, más de cuarenta países cultivan el maracuyá en forma comercial. La planta originaria del Brasil presenta dos variedades o formas diferentes: la púrpura o morada (*Passiflora edulis* Sims) y la amarilla (*Passiflora edulis* Sims *f. flavicarpa*). La primera, se consume en fresco por su sabor más dulce, se cultiva en lugares semicálidos y a mayor altura sobre el nivel del mar como el sur de Brasil, Paraguay y el norte de Argentina, en tanto que la segunda crece en climas cálidos, desde el nivel del mar hasta mil metros de latitud. La última es más apreciada por la industria por su mayor acidez y su producción más alta de jugo (Swi-Bea Wu & Ming-Jen, 1996).

Por siglos el maracuyá variedad amarillo ha crecido en climas tropicales, ha sido cultivado para fabricar vino y para la producción de bebidas refrescantes. La variedad amarilla es la más importante comercialmente en varias regiones del mundo debido a su habilidad de crecer en una diversidad de tierra y el rendimiento, se emplea para jugos, mermeladas y otros productos especiales como helados y

bebidas alcohólicas. En el sur de América algunas culturas usan al maracuyá por sus propiedades diuréticas y sedativas, además tiene un gran potencial como medicamento botánico y suplemento dietético (Morton, 1987).

El maracuyá variedad amarillo tiene un jugo ácido y aromático que se obtiene del arilo, tejido que rodea a la semilla y es una excelente fuente de vitamina A, carotenoides, xantofilas, niacina, riboflavina y ácido ascórbico. La cáscara y la semilla también son susceptibles de emplearse en la industria por los componentes que contiene (Mercadante *et al.*, 1998).

La producción de maracuyá en México ha pasado por varias etapas, aparentemente, en la inicial se realizaron siembras de traspatio, sobre todo en los estados de Puebla y Veracruz (Arenas *et al.*, 1994).

A partir de 1989/90 se inició la siembra en plantaciones comerciales, con un alto nivel tecnológico, constituyendo la segunda fase de desarrollo; fue una etapa en que parecía que el maracuyá se difundiría ampliamente como alternativa, ante la crisis generalizada en el campo mexicano. Esta segunda etapa, sin embargo, no perduró mucho tiempo, sino que terminó aproximadamente en 1993. La tercera etapa, es la actual y se caracteriza por el hecho de que algunos productores decidieron seguir con el cultivo a pesar del reducido mercado existente y entraron a un proceso de transformación artesanal de la fruta, buscando su venta en forma de jugo, pulpa, mermelada, miel, cáscara en almíbar, vino y licor (Schwentenius & Gómez, 1996).

4.2.2 Composición de la fruta y jugo

4.2.2.1 Macronutrientes

La fruta del maracuyá posee atributos refrescantes y un sabor dulce debido a su alto contenido de agua y de carbohidratos, la pulpa contiene aproximadamente el 85.9% de agua y el remanente son elementos que contribuyen al aroma, sabor y el contenido energético, en la Tabla IV. II se muestra una composición aproximada de la pulpa. El jugo de maracuyá variedad amarillo es una fuente significativa de energía y una alta contribución de proteínas de 3% y 4.5% del total de calorías (56 kcal) respectivamente.

Tabla IV. II Composición aproximada de la pulpa de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*). Valores reportados en g/100 mL de porción comestible

	<i>Composición</i>
Agua	85.9
Energía	56 kcal
Proteínas	1.5
Lípidos	0.5
Carbohidratos	11.4
Fibra	0.2
Cenizas	0.7

Fuente: USDA Nutrient Data Laboratory (2000).

Homnava *et al.*, (1990) realizaron investigaciones de la composición de la fruta fresca, ellos reportan altos niveles de proteínas, grasas y cenizas, un alto porcentaje de agua además muestra el nivel de proteínas en el jugo de variedad amarillo es de aproximadamente 42% más que el de la variedad púrpura. El jugo de variedad amarillo contiene una pequeña cantidad de fibra soluble total.

La constitución de los carbohidratos es la mejor fuente de kilocalorías y se muestra en la Tabla IV. III, la glucosa y la fructuosa son los azúcares predominantes y la cantidad de fructuosa es más alta en la variedad púrpura (Senter *et al.*, 1992).

Arjona *et al.*, (1991) encontraron una menor cantidad de sacarosa en la variedad púrpura que en la amarilla, en contraste el maracuyá púrpura tiene una mayor dulzura que la amarilla (Senter *et al.*, 1992), en la Tabla IV. III se muestra la cantidad aproximada de ácidos no volátiles presentes en el jugo. Una calidad distintiva del jugo de maracuyá amarillo es el alto contenido de ácido cítrico, como el limón y jugo de limón, el jugo de maracuyá es totalmente ácido. Pruthi (1963) encontró que el ácido predominante en el maracuyá variedad amarillo es el ácido cítrico en un rango de 93.3 a 96.2% del total de ácidos presentes en el jugo de maracuyá y ácido málico en un rango de 3.8-6.7% del total. Estas investigaciones también muestran que el maracuyá facilita la absorción de zinc y quizás de otros minerales. En el jugo se encontraron de manera libre ácido acetilsalicílico y benzoico, lo que contribuye a la alta acidez del jugo.

Tabla IV. III Azúcares y ácidos no volátiles presentes en el jugo de maracuyá amarillo y púrpura. Valores reportados en mg/g jugo

	Fructuosa	Glucosa	Sacarosa	Ácido Máfico	Ácido Cítrico
Maracuyá, amarilla	14.5	19.8	9.1	0.9	6.6
Maracuyá, púrpura	16.2	20.1	8.1	1.3	3.4

Fuente: Senter *et. al.*, (1992); Arjona *et al.* (1991).

4.2.2.2 Micronutrientes

Las frutas exóticas, primero fueron consumidas en la región geográfica donde crecían pero después se hicieron populares en otros países como Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Suiza y Japón, las razones son mejores técnicas de: empaque, procesamiento, tratamiento y embarque. Las tendencias actuales por consumir alimentos con alto contenido nutrimental han hecho que las frutas tropicales y sus bebidas tengan una gran demanda por los consumidores. El jugo de maracuyá variedad amarillo contiene componentes que benefician a la salud, los cuales pueden ser atribuidos a sus micronutrientes: vitaminas, minerales y fitoquímicos. Como otras frutas exóticas el maracuyá proporciona una significativa fuente de nutrientes. En la Tabla IV. IV se proporciona la composición de micronutrientes aproximada del jugo de maracuyá variedad amarillo (USDA Nutrient Data Laboratory, 2000).

Tabla IV. IV Composición aproximada de micronutrientes por cada 100g de jugo de maracuyá variedad amarillo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*).

Minerales	
Calcio	4.0 mg
Magnesio	17.0 mg
Potasio	278.0 mg
Zinc	0.06 mg
Cobre	0.5 mg
Selenio	0.10 mg
Vitaminas	
Ácido ascórbico	18.2 mg
Ácido fólico	8.0 mg
Vitamina A	241 UI*
Vitamina A	241 µg RE**
Vitamina E	0.05 µg α-TE***

* UI: Unidades Internacionales

* µg RE: microgramos de retinol (1 mcg = 3.3 UI)

*** µg α -TE: microgramos de alfa-tocoferol (1mg α-TE = 1.5 UI)

Fuente: USDA Nutrient Data Laboratory (2000).

El maracuyá proporciona una fuente significativa de Vitamina C y puede ser considerada como una fuente alternativa a las frutas cítricas. Un vaso de jugo de

maracuyá proporciona cerca del 50% de la ingesta diaria necesaria de vitamina C para hombres y un 60% para mujer.

La Tabla IV. V muestra una comparación de algunas frutas tropicales, maracuyá (como fruta fresca) resalta como una fuente significativa de vitamina C, tiene más nutrimentos que la naranja, limón y la piña (Vinci *et al.*, 1995). Únicamente el kiwi y la papaya de esta lista tienen más vitamina C. El alto valor de vitamina C en la tabla IV. V en comparación con el de la tabla IV. IV puede ser debido al procesamiento de la fruta en jugo y la susceptibilidad a la oxidación de vitamina C y pérdidas por calor.

Tabla IV. V Contenido de vitamina C de diferentes frutas tropicales

Fruta	Vitamina C (mg / 100g)
Maracuyá	64 .78
Toronja	64 .78
Kiwi	67 .23
Mango	25 .32
Papaya	88 .20
Piña	30 .60
Limón	51 .30
Naranja	49 .80

Fuente: Vinci *et al.*, (1995).

El jugo de maracuyá es una excelente fuente de vitamina A (Tabla IV. IV), se estima que una taza de jugo proporciona 5950 I.U. de vitamina A. También proporciona una fuente significativa de potasio, por lo cual es una alternativa a otras frutas como: plátano y naranja (Tabla IV. VI). Los nutriólogos recomiendan un consumo en hombres y mujeres de aproximadamente 1.6 a 2.0 g de potasio por día. Un vaso de jugo de maracuyá proporciona del 34 al 42% de la recomendación estimada.

Tabla IV. VI Contenido de potasio en frutas frescas

Fruta	Potasio (mg / 100g)
Jugo de maracuyá	278
Uva	127
Kiwi	332
Mango	156
Papaya	257
Piña	113
Plátano	396
Naranja	169

Fuente: USDA Nutrient Data Laboratory (2000)

El jugo de maracuyá contiene de 10 al 13% de los requerimientos diarios de magnesio, un mineral que contribuye al control de la presión sanguínea. En mujeres embarazadas se recomienda una ingesta diaria de 400 µg de ácido fólico por día, el

jugo de maracuyá es una fuente de este nutrimento y proporciona un 5% del valor diario.

4.2.3. Composición fitoquímica

Los fitoquímicos son la clase de componentes exclusivos de plantas que no son nutritivos pero tienen muchos efectos benéficos en la salud, generalmente actúan como potentes antioxidantes. La caracterización de polifenólicos es limitada para el maracuyá; otros fitoquímicos los cuales son responsables del aroma son tioles, terpenos, ésteres, alcoholes y otros compuestos aromáticos (Werkhoff *et al.*, 1998 y Tominaga & Dubourdieu, 2000). El color característico del maracuyá fresco y del jugo es debido a la provitamina A, carotenoides y xantofilas las cuales son sensibles al oxígeno, calor y luz.

4.2.3.1. Polifenólicos

Los polifenólicos son constituyentes importantes de frutas y vegetales, su cuantificación proporciona una información importante relacionada con sus funciones antioxidantes, calidad y sus posibles beneficios a la salud. De 40 compuestos detectados en el jugo de maracuyá variedad amarillo, solo 16 fueron identificados y cuantificados como polifenólicos (Talcott *et al.*, 2003).

4.2.3.2 Carotenoides

El jugo de maracuyá contiene pigmentos amarillos y naranjas. Trece carotenoides fueron identificados como compuestos predominantes, de estos el ζ -caroteno es identificado como el principal (Mercadante *et al.*, 1998), los caratenoides

proporcionan la apariencia visual del jugo y son importantes por la provitamina A y su actividad antioxidante, de 5 carotenoides encontrados uno fue el monohidroxi, tres-dihidroxi y trihidroxi, en la tabla IV. VII se muestran las cantidades aproximadas de tres carotenoides que fueron cuantificados en el maracuyá (Homnava *et al.*, 1990), estas investigaciones usaron el jugo de la fruta empleando cromatografía HPLC.

En investigaciones de Talcott *et al.*, (2003) se ha encontrado que los carotenoides no son alterados al ser pasteurizados a 85 °C por treinta minutos por lo que es justificable su uso en mezcla de jugos. Durante el almacenamiento por 28 días se observó un decrecimiento de carotenoides, el mayor decremento fue alrededor del día 14 y después las pérdidas no fueron importantes.

Tabla IV. VII Contenido de carotenoides en el maracuyá

	Beta-criptoxantina		Alfa-carotenoides		Beta-carotenoides	
	µg/100 g		µg /100 g		µg /100 g	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
Maracuyá amarillo	53	40	70.8	ND¹	750	300
Maracuyá púrpura	41.7	40	ND ¹	ND ¹	336	1150

ND¹: No detectado

Fuente: USDA Nutrient Data Laboratory (2000).

El carotenoide licopeno, tiene un potencial benéfico en la salud, ha sido identificado en el maracuyá aunque no cuantificado (Mercadante *et al.*, 1998), es encontrado en un número limitado de alimentos y presenta una alta concentración en frutas de color rojas como el tomate. La Tabla IV. VIII presenta el contenido de Vitamina A del maracuyá variedad amarillo y púrpura. El valor de la vitamina A en la tabla es la combinación de vitamina A preformada con diferentes actividades derivadas de varios carotenoides.

Tabla IV. VIII Contenido de vitamina A en el maracuyá

Vitamina A	
($\mu\text{g Re}/100\text{g}$ porción comestible)	
Jugo de maracuyá, amarillo	241
Jugo de maracuyá, púrpura	72

$\mu\text{g RE}$ = microgramos de retinol (1 $\mu\text{g RE}$ = 3.33 UI).

Fuente: Mercadante *et al.*, (1998).

4.2.4 Compuestos de aroma y sabor

Más de 200 componentes han sido descritos como componentes de sabor y olor del maracuyá, Werkhoff *et al.*, (1998) estudiaron el perfil aromático del maracuyá y reportaron que esta fruta es caracterizada por un aroma exótico y una fuerte nota de azufre, encontró cerca de 180 componentes en la fruta. Los componentes de azufre que contiene proporcionan olores intensos entre los que se

encontraron el 3-mercaptanohexanol y 2-(metiltiol)-hexanol. Acetatos, butanoatos, hexanoatos, glucósidos y terpenoides han sido encontrados en *Passiflora edulis flavicarpa* (Jordán *et al.*, 2002).

El maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) como la mayoría de las frutas pertenece a la categoría de alimentos ácidos, para alargar la vida de anaquel de frutas tropicales como el maracuyá, la pulpa se transforma en néctar o jugo por lo que se emplean procesos térmico como la pasteurización.

4.3 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico es un método de conservación, el cual tiene como objetivo producir alimentos seguros, de alta calidad, bajo costo, alargar la vida de anaquel del alimento y mantener las características sensoriales deseables (Lund, 1977). El tratamiento térmico depende del pH del producto por que determina el tipo de microorganismos que puede causar deterioro en los alimentos. (Lewis & Heppell, 2000).

El tratamiento térmico empleado para jugos de frutas y néctares es la pasteurización por el pH del producto y por la sensibilidad de sus propiedades organolépticas. Por pasteurización se entiende como la aplicación de un proceso térmico a un alimento con el cual se logra conseguir la estabilidad y comestibilidad del producto inactivando microorganismos termolábiles como células vegetativas de bacterias, esporas de mohos y levaduras y enzimas deteriorativas (Argaiz *et al.*, 1995). Como la temperatura utilizada en la pasteurización es relativamente baja

(<100° C) los alimentos conservados experimentan menor deterioro térmico que los conservados por esterilización. En los alimentos pasteurizados la concentración de oxígeno dentro del producto además de determinar la extensión de la deterioración oxidativa controla el crecimiento de ciertos microorganismos (mohos). Por estas razones la pasteurización debe ser tal que asegure: (i) un control microbiológico adecuado; (ii) la destrucción de enzimas indeseables, y (iii) una baja presión de oxígeno en el alimento (Brennan *et al.*, 1980).

La optimización de la retención de calidad en alimentos procesados térmicamente se basa en las diferencias de dependencia de la temperatura y la inactivación de materiales biológicos no deseados (enzimas y/o microorganismos) y los cambios en la calidad sensorial y nutricional. Es importante conocer las interrelaciones tiempo-temperatura para los cambios en las características sensoriales durante el tratamiento (Argaiz & López-Malo, 1996).

4. 3. 1. Penetración de calor

El calor se transfiere en tres distintas maneras: radiación, conducción y convección. La penetración de calor durante el proceso térmico en alimentos puede ser por: conducción o convección (Lewis & Heppell, 2000). Conducción es el mecanismo predominante en sólidos y convección en líquidos, no obstante también pueden existir mecanismos combinados dependiendo de la naturaleza y consistencia del alimento.

La transmisión de calor en la conducción ocurre cuando el calor fluye de las moléculas mas energéticas a las adyacentes menos energéticas en forma ordenada sin

desplazamiento visible de sus partículas, generalmente se presenta en alimentos sólidos o muy viscosos (Holdsworth, 1997), es lenta y el alimento que esta junto a las paredes se calienta primero sufriendo la acción degradante del calor si no esteriliza en condiciones adecuadas y selectivas (Rodrigo *et al.*, 1982).

En la convección, la transmisión de 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 provoca la circulación de masa dentro de la lata, esto ocurre en los líquidos. La transferencia de calor por convección puede ser natural o forzada, en la primera el movimiento del fluido se debe a las diferentes densidades originadas por la variación de temperatura, en la convección forzada el movimiento del fluido se activa mecánicamente (Holdsworth, 1997). La transferencia de calor es más rápida y en consecuencia la degradación térmica que sufre el alimento es menor. Es importante tomar en cuenta la consistencia y naturaleza del alimento, la geometría, tipo y grosor del envase y la temperatura inicial del producto que afectan la velocidad de transferencia de calor.

4. 3. 2. Cinética de destrucción de microorganismos, enzimas y degradación de factores de calidad

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 también son dependientes de la temperatura (Ohlsson, 1980). Los microorganismos son la principal causa de alteración que sufre el alimento, las bacterias y sus esporas son las principales responsables del deterioro de productos conservados

térmicamente, en comparación con los mohos y levaduras que son poco resistentes al calor (Rodrigo *et al.*, 1982). Los microorganismos al igual que algunos factores de calidad como sabor y color y enzimas se destruyen en forma logarítmica cuando se someten a calor por un determinado tiempo (Lund, 1975).

La muerte de microorganismos o destrucción microbiana así como la degradación de factores de calidad y la inactivación de enzimas deteriorativos, sigue una cinética de primer orden y matemáticamente se expresa como:

$$-\frac{dN}{dt} = k N \quad (4.1)$$

donde: N = concentración o número de de microorganismos, factor de calidad o enzimas, k = constante de proporcionalidad, $-dN/dt$ = proporción a la cual decrece el número de microorganismos, enzimas o factores de calidad.

Reordenando términos:

$$-\frac{dN}{N} = k dt \quad (4.2)$$

Integrando la ecuación 4.2:

$$-\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = k \int_0^t dt \quad (4.3)$$

Se puede obtener la siguiente ecuación:

$$-\ln N + \ln N_0 = k t \quad (4.4)$$

A partir de la ecuación 4.4 se obtiene la siguiente:

$$k = \frac{2.303}{t} * \log \left[\frac{N_0}{N} \right] \quad (4.5)$$

o lo que es lo mismo:

$$t = \frac{2.303}{k} * \log \left[\frac{N_0}{N} \right] \quad (4.6)$$

donde: N_0 = número inicial de microorganismos, enzimas o factor de calidad, N = número de microorganismos sobrevivientes, enzimas o factor de calidad después del tiempo de calentamiento y $2.303/k$ = pendiente de la curva de supervivencia.

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” se emplea para medir la velocidad de muerte de los microorganismos o de inactivación de enzimas y de los factores de calidad.

El valor D es el tiempo necesario a una temperatura T constante para que el número de microorganismos viables disminuya diez veces, o lo que es lo mismo para destruir el 90% de las esporas o células vegetativas de un organismo o atributo dado. Matemáticamente es el inverso negativo de la pendiente de la curva de supervivencia. Es decir, cuando $N = N_0/10$ y sustituyendo en (4.6), el tiempo “ t ” es igual a D .

$$D = \frac{2.303}{k} \quad (4.7)$$

sustituyendo la ecuación (4.7) en (4.6) se tiene:

$$t = D * \log \left[\frac{N_0}{N} \right] \quad (4.8)$$

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_T :

$$F_T = D * \log \left[\frac{N_0}{N} \right] \quad (4.9)$$

La ecuación (4.9) se conoce como primera ley de destrucción térmica de microorganismos.

En los cálculos de los procesos de tratamiento térmico es importante tener un conocimiento de la variación de las velocidades de reacción específicas con la temperatura. Se han empleado diversas expresiones matemáticas para indicar este cambio en la velocidad de reacción (ecuación de Arrhenius, coeficiente de temperatura Q_{10} y el valor z). Quizás el parámetro más difundido es el valor z (Rodrigo *et al.*, 1990).

Si representamos gráficamente los valores logarítmicos de D frente a la temperatura, se obtiene una línea recta, denominada curva de destrucción térmica, que reflejan la resistencia relativa de los microorganismos a diferentes temperaturas. El valor z es el intervalo necesario de temperatura para atravesar un ciclo logarítmico en la curva de destrucción térmica. Matemáticamente es el inverso negativo de la pendiente de la curva. Este valor z se usa en los métodos de cálculos

de proceso para ver la variación de la velocidad de destrucción térmica con la temperatura:

$$\frac{(\log D_2 - \log D_1)}{z} = (T_1 - T_2) \quad (4.10)$$

donde D_1 = tiempo de reducción decimal a la temperatura T_1 y D_2 = tiempo de reducción decimal a la temperatura T_2 .

De la ecuación (4.10), eliminando logaritmos y reorganizando la ecuación se tiene:

$$D_2 \log \left[\frac{N_0}{N} \right] = D_1 \log \left[\frac{N_0}{N} \right] 10^{(T_1 - T_2)/z} \quad (4.11)$$

Sustituyendo la ecuación (4.9) en la (4.11) y considerando a T_1 igual a T_{ref} tenemos:

$$F_T = F_{ref} 10^{(T_{ref} - T_2)/z} \quad (4.12)$$

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 (4.12) 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 nutrimentales, donde N sería el factor de calidad a evaluar.

4. 3. 3 Método General: Método de cálculo de pasteurización

El método general fue propuesto por Bigelow *et al.* (1920) el cual es 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 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 son diferentes a aquéllas de las que se obtuvieron los factores térmicos originales del proceso.

4. 3. 4 Intervalo de letalidad

A partir de las relaciones de la curva de destrucción térmica (TD) se pueden asignar valores de letalidad (velocidad de muerte de microorganismos, inactivación de enzimas deteriorativas o degradación de factores de calidad) 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 esporas (atributo de calidad) dado a esta temperatura de las curvas TD. En consecuencia, la letalidad (L) aplicada es el producto del valor de letalidad y el tiempo (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, 1979).

La letalidad (L) también puede calcularse mediante la siguiente fórmula (Ball, 1928):

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

(4.13)

donde: T = cualquier temperatura letal, T ref = temperatura a la cual se obtiene una letalidad de 1 minuto (unidad de letalidad) para el microorganismo, enzima o factor de calidad de la curva de destrucción térmica utilizada como referencia, z = grados Centígrados (° C) ó Fahrenheit (° 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 de 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 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 para la intersección de la curva de enfriamiento y el eje x. El método general es un procedimiento de prueba y error (Stumbo, 1973).

4.4 Pectinesterasa

En los alimentos ocurren cambios de calidad, estos cambios pueden ser resultado de tres tipos de reacciones entre el alimento y el medio ambiente u ocasionados por la composición química de alimentos: (a) microbiológicas; (b) enzimáticas y (c) cambios químicos no enzimáticos (Aylward & Haisman, 1969). Esta parte de la revisión bibliográfica se enfocará principalmente a los efectos producidos por las enzimas principalmente la pectinesterasa (PE) en jugos de frutas.

Es conocido que las enzimas pueden ocasionar cambios dañinos en frutas a temperatura ambiente y bajos niveles de humedad. Por esta razón algunas frutas deben ser conservadas por tratamiento térmico, congelamiento o deshidratación para inactivar a las enzimas en los alimentos (Adam & Yawger, 1961).

Los cambios bioquímicos involucrados en la maduración de frutas tropicales se encuentran asociados a la actividad de algunas enzimas como la polifenoloxidasas, pectinesterasa, poligalacturonasa y peroxidasa (Arbaisah *et al.*, 1997). Su acción a nivel de los tejidos del fruto, varía según el grado de maduración, y da lugar a una serie de características de calidad fisicoquímica de importancia, para la fruta fresca como procesada. Algunas de estas enzimas causan problemas en la apariencia, color, olor, sabor, textura, etc., de las pulpas y como consecuencia en los productos terminados, dando lugar a una calidad comercial defectuosa (Adams, 1991).

Por ejemplo la poligalacturonasa (PG) y pectinesterasa (PE), están involucradas con la degradación de pectinas, además de afectar viscosidad y textura del producto, la lipoxigenasa (LOX), contribuye al desarrollo de sabores

desagradables en diversos productos y la polifenoloxidasas (PPO), es responsable del oscurecimiento (McEvily et al., 1992).

Uno de los problemas principales en la industria de los jugos de frutas es mantener la turbidez en los jugos (Van den Broeck, *et al.*, 2000). La pérdida de nube en los jugos es iniciada por la reacción enzimática de la pectinesterasa (PE), la cual se encuentra distribuida principalmente en frutas y hortalizas (Nath & Ranganna, 1977).

La pectinesterasa cataliza la desesterificación del ácido galacturónico en pectinas, liberando metanol; es decir hidroliza los ésteres metílicos de la pectina atacando la cadena de la pectina desde el extremo reductor a partir de grupos carboxilo libres y de manera lineal pasa a través de la molécula dejando bloques sucesivos de residuos de ácido galacturónico con grupos carboxilo libres, lo que provoca la liberación de metanol. Al tener un número mayor de grupos carboxilo libres pueden interaccionar con iones divalentes como el calcio y magnesio formando estructuras tridimensionales rígidas, lo que origina una mayor firmeza en el tejido, lo anterior es deseable en algunos productos como el tomate rebanado, chícharos y rebanadas de zanahorias (Alzamora *et al.*, 2000, Aylward & Haisman, 1969, Hsu *et al.*, 1965, Somogy *et al.*, 1996, Van den Broeck, *et al.*, 2000).



En jugos, lo anterior no es deseable ya que las pectinas de bajo metoxilo pueden agregarse y sedimentarse originando pérdidas de la nube del jugo, la acción de la pectinesterasa, aumenta la susceptibilidad de la pectina a una posterior

degradación por poligalacturonasa, esto ocurre porque esta enzima actúa en los segmentos de la cadena de pectina que han sido desmetilados por la pectinesterasa, la poligalacturonasa rompe la cadena del ácido poligalacturónico de la pectina y reduce la longitud promedio de las cadenas pectínicas, lo que genera una reducción en la viscosidad de los jugos (Anthon *et al.*, 2002, Meyer, 1960).

La pectinesterasa es importante en la industria cítrica porque es el agente causante de la clarificación de jugos y gelación de concentrados congelados. En frutas, la pectinesterasa existe normalmente en dos o más isoformas, cada una contiene una cadena simple de polipéptidos, con un punto isoeléctrico entre 7 y 11 (Aparecida de Assis *et al.*, 2002; Laratta *et al.*, 1995). Para prevenir cambios no deseados durante la vida de anaquel por enzimas, las pulpas y jugos de frutas son sometidos a algún tipo de tratamiento térmico, como: esterilización comercial y pasteurización. En investigaciones se han reportado datos de resistencia térmica de las enzimas en frutas y hortalizas, demostrando que a altas temperaturas y cortos tiempos de procesamiento la inactivación enzimática asegura también la destrucción de microorganismos (Aylward & Haisman, 1960).

4. 4. 1 Inactivación enzimática

La presencia de enzimas es causa de pérdida de calidad durante la vida de anaquel del producto como oscurecimiento enzimático, pérdida de nube degradación en color, aroma y sabor entre otros atributos por lo que es necesario inactivarlas uno de los métodos empleados es la aplicación de calor (Holdsworth, 1997), las temperaturas de inactivación de las enzimas varían entre 40 y 130° C.

En la destrucción de enzimas por calor influyen la temperatura y el tiempo de tratamiento. A temperaturas bajas, la destrucción enzimática es mayor que la de los microorganismos, en cambio a temperaturas altas sucede lo inverso y se inactivan de manera más rápida los microorganismos (Aylward & Haisman, 1969).

4. 4. 2 Efecto del calor sobre la degradación de atributos sensoriales y nutrimentales

Las reacciones físicas y químicas que ocurren durante el tratamiento térmico pueden ser deseables o indeseables (Rodrigo *et al.*, 1980; Lewis & Heppell, 2000), estos cambios están influenciados por el tiempo y temperatura del proceso, la composición y propiedades de alimento (pH, contenido de iones metálicos, etc.) y condiciones ambientales (cantidad de luz, disponibilidad de oxígeno, entre otros).

En los jugos y néctares de frutas uno de los intereses es conservar las características organolépticas por lo que se requiere poca cocción, ya que una cocción inadecuada puede ocasionar efectos indeseables sobre el sabor, olor y otros factores de calidad, las causas pueden ser las siguientes:

- a) Oscurecimiento no enzimático causado por reacciones de Maillard entre aminoácidos y azúcares reductores, como consecuencia pueden producir alteraciones en el sabor y olor de las frutas sometidas a tratamientos de pasteurización.
- b) Caramelización causada por el efecto del calor sobre los azúcares y otros compuestos que además de provocar coloraciones oscuras, alteran el sabor y aroma.

- c) Oxidación y polimerización del ácido ascórbico, con el desarrollo de aromas y sabores impropios del alimento.
- d) Polimerización de aldehídos que provoca compuestos oscuros y sabores extraños.
- e) Degradación de vitaminas generalmente depende del pH y puede ser catalizada en presencia de metales (cobre, hierro y zinc), o enzimas.

La destrucción de nutrientes y vitaminas durante el tratamiento térmico, reduce el valor nutrimental, por lo que es necesario conocer la cinética de destrucción y el orden de reacción para determinar las condiciones del proceso necesarias para minimizar este efecto (Lund, 1977). Un ejemplo es la degradación de vitamina C (ácido ascórbico), donde la pérdida de vitamina es por la conversión de L-ácido ascórbico a L-ácido deshidroascórbico con oxígeno, la reacción es catalizada por iones de metales particularmente Cu^{+2} , Fe^{+2} y Zn^{+2} . Entre las vitaminas termolábiles la tiamina es la más estable a la desnaturalización por calor, en investigaciones se ha encontrado que la cinética es de primer orden, aunque también se han reportado cinéticas de segundo orden (Ming-Long & Seib, 1988). La degradación de vitamina C y de ácido fólico se ha reportado como una cinética de reacción de primer orden (Ulgen & Ozilgen, 1991; Barrett & Lund, 1989).

Argaiz & López-Malo (1995; 1996) evaluaron la dependencia en la temperatura de los cambios de sabor y olor, desarrollo a sabor cocido y la inactivación de pectinesterasa en puré y néctar de mango y papaya, en ambos casos los valores z para la inactivación de la pectinesterasa fueron menores que los relacionados con los atributos sensoriales, aunque sólo se reportan datos en el

intervalo 75 – 90° C y la zona de optimización corresponde a tiempos cortos de tratamiento y temperaturas $\geq 85-87^\circ \text{C}$.

4.5 Optimización de los procesos de pasteurización

Para el desarrollo de unas condiciones de pasteurización óptimas, hay que resolver los siguientes aspectos (Rodrigo y Safón, 1980):

1. Definir los objetivos que se pretenden alcanzar.
2. Conocer la cinética de destrucción de los diferentes factores de referencia, tales como microorganismos, enzimas, atributos sensoriales o concentración de algún nutriente de interés.
3. 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 fluido y del tipo de equipo de pasteurización 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.

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 (Lund, 1977).