

### **III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

De acuerdo a la imagen de frescura y salud que busca el consumidor dentro de los alimentos, los productores en los últimos años han explotado la imagen de fresco y natural en la mayoría de sus productos (Sloan, 2001), los consumidores preocupados por la salud han decidido consumir productos que les otorguen calidad nutricional y si al mismo tiempo, el alimento les proporciona otro beneficio, el producto será más aceptado en todos los sentidos. Por ésta razón el yogurt es ampliamente recomendado para la dieta diaria, no obstante, no es la única razón, pues se piensa que el yogurt influye en el buen funcionamiento del aparato digestivo (IFT, 1999).

#### **3.1 Generalidades**

El consumo y mercado de yogurt ha aumentado rápidamente. Los beneficios nutricionales y de salud de este alimento incluyen: efectos antibióticos, reducción de la intolerancia a la lactosa y malestares gastro-intestinales (Labell, 1989).

La industria del yogurt ha desarrollado productos nuevos como yogurt bajo en grasa y sin grasa y con mejoramiento de sus propiedades nutricionales (Rash, 1990).

Durante los últimos años la adición de nutrimentos en los alimentos ha tenido gran impacto. Los productos lácteos son comúnmente fortificados con vitamina A y D y sólidos de leche no grasos. Recientemente se han fortificado con hierro y calcio (Packard, 1983).

#### **3.2 La leche como alimento**

La importancia de la leche en la dieta humana, se debe a sus dos principales componentes: proteínas y calcio. Las proteínas proporcionan muchos de los aminoácidos esenciales, los cuales son deficientes en los granos de cereales usados en la alimentación. Además, las proteínas son fácilmente digeridas y su existencia es

universal, comúnmente se recomienda la cantidad de 900 mL de leche por día, lo cual proporciona más del 60 por ciento de los requerimientos de proteínas para un infante menor de 6 años de edad. Para los seres humanos entre los 14 y 20 años de edad, 900 mL de leche proporcionan aproximadamente el 50% de los requerimientos diarios de proteínas (Silva, 1994).

En cuanto al calcio, este nutrimento es el más difícil de aportar en las dietas de las personas que no consumen leche o sus derivados, para las mujeres en cinta, niños, adolescentes y jóvenes, se considera necesario 1.2 g de calcio por día, mientras que los adultos requieren 800 mg por día. El calcio y la vitamina D son elementos extremadamente importantes en la dieta de los adultos maduros, especialmente las mujeres después de la edad de la menopausia, si el calcio no es consumido diariamente, éste se saldrá de los huesos y se producirán enfermedades como la osteoporosis (Ramet, 1962).

### **3.3 Componentes de la leche**

El primer fundamento para la fabricación de productos lácteos, es el conocimiento de la leche, como materia prima y los componentes que la integran.

#### **3.3.1 Lípidos y Ácidos grasos**

La fracción lipídica mayoritaria de la leche de vaca está constituida por triglicéridos que representan del 97 al 98 % del total de lípidos; el resto, está constituido por pequeñas cantidades de monoglicéridos, diglicéridos, indicios de colesterol esterificado, ácidos grasos libres y fosfolípidos (Scott, 1991).

En la leche, los triglicéridos están presentes en glóbulos de 2 – 3  $\mu\text{m}$  de diámetro (Fennema, 1996). La membrana de los triglicéridos está constituida por diversos lípidos,

proteínas y algunos minerales (Badui, 1993). En el Cuadro I se muestra la composición lipídica de la leche de vaca.

**Cuadro I.** Composición lipídica de la leche de vaca.

<b>Lípido</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>g/L<sup>a</sup></b>
Triglicéridos	97 – 98	31.2
Diglicéridos	0.3 – 0.6	0.14
Monoglicéridos	0.02 – 0.04	0.01
Ácidos grasos libres	0.1 – 0.4	0.08
Esteroles libres	0.2 – 0.4	0.10
Fosfolípidos	0.2 – 1.0	0.19
Hidrocarburos	Trazas	Trazas
Esteres de esteroles	Trazas	Trazas

a. Basados en el porcentaje graso usual de la leche entera pasteurizada comercial, de 3.2 por ciento (Badui, 1993).

El aspecto más interesante de los compuestos anteriormente mencionados es la gran diversidad de ácidos grasos que contienen; mientras en la mayoría de las grasas y aceites comúnmente utilizados en los alimentos se encuentran aproximadamente sólo 20 ácidos grasos, en la grasa láctea se han identificado más de 400, lo que la hace la fracción lipídica más compleja conocida hasta el momento (Badui, 1993). Sin embargo, la gran mayoría de estos compuestos se encuentran en concentraciones traza (Fox y McSweeney, 1998).

A pesar de que los fosfolípidos están presentes en menos del 1 % de los lípidos totales de la leche, juegan un rol importante y particular, estando presentes principalmente en la membrana del glóbulo de grasa de leche y otros minerales derivados de membrana. Los principales fosfolípidos presentes son la fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina y esfingomielina. Así mismo trazas de otros lípidos polares,

incluyendo ceramidas, cerebrósidos y gangliósidos, también se encuentran dentro del material lipídico de la leche.

Los hidrocarburos presentes en la leche están en concentraciones traza, de éstos los carotenoides son los principales, ya que son precursores del 10 – 50 % de vitamina A de la leche, además de ser responsables del color amarillo de la leche. Compuestos como vitaminas liposolubles también se encuentran presentes en forma significativa, contribuyendo así a los requerimientos dietéticos (Fox y McSweeney, 1998).

### **3.3.2 Proteínas**

La leche contiene proteínas de alta calidad, que incluyen todos los aminoácidos esenciales y cantidades de otros aminoácidos que se encuentran en pequeñas cantidades en las proteínas vegetales. Las sustancias proteicas de la leche de acuerdo a su estado de dispersión se dividen en caseínas que representan el 80 % del total y las proteínas del suero o sueroproteínas que constituyen el 20 % restante.

Las caseínas y las otras proteínas están estabilizadas en la leche por diferentes mecanismos, es sencillo separarlas mediante la manipulación de diferentes parámetros como el pH, la temperatura y la fuerza iónica.

Las caseínas son fosfoglucoproteínas de la leche, se encuentran combinadas con calcio y fosfato. Si se acidifica la leche hasta un pH de 4.6 (punto isoeléctrico de la caseína), el calcio y el fosfato se separan de la caseína.

Existen cuatro fracciones principales de caseína:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$  y  $\gamma$ . Las caseínas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  son muy sensibles a la alta concentración de los iones calcio propios de la leche; éstas precipitarían si no se contara con la caseína  $\kappa$  que cumple una función protectora y estabilizadora.

La caseína  $\beta$  presenta un grado mayor de hidrofobicidad, por lo que su solubilidad depende de la temperatura. Por otro lado la fracción  $\kappa$  desempeña un papel estabilizador importante ya que previene la precipitación de las caseínas  $\alpha$  y  $\beta$ , por la acción del calcio lácteo. Esta proteína presenta una sección hidrófoba y otra hidrófila, por lo que actúa como un agente emulsificante.

Las proteínas del suero son compactas, globulares y solubles en un intervalo de pH amplio. En general son sensibles a las altas temperaturas y en menor grado al pH ácido.

Constan por lo menos de ocho fracciones diferentes, entre las cuales destacan la  $\beta$ -lactoglobulina, la  $\alpha$ -lactoalbúmina, las inmunoglobulinas, la albúmina bovina y las proteosas-peptonas (Badui, 1993).

El Cuadro II muestra las concentraciones de las proteínas más abundantes en la leche de vaca.

**Cuadro II.** Concentraciones de las proteínas más abundantes en la leche.

Proteína	Concentración
Caseínas:	24 – 28
$\alpha_s$ -caseínas	15 – 19
$\alpha_{s1}$	12 – 15
$\alpha_{s2}$	3 – 4
$\beta$ -caseínas	9 – 11
$\kappa$ -caseínas	3 – 4
$\gamma$ -caseínas	1 – 2
Proteínas del suero:	5 – 7
$\beta$ -lactoglobulinas	2 – 4
$\alpha$ -lactoalbúmina	1 – 1.5
Proteasas – peptonas	0.6 – 1.8
Proteínas de la sangre:	
Albúmina del suero	0.1 – 0.4
Inmunoglobulinas	0.6 – 1.0

Adaptado de Fennema, 1996.

### 3.3.3 Enzimas

Las enzimas son compuestos proteicos que aceleran los procesos biológicos. En leche cruda se encuentran las siguientes enzimas (Meyer, 1982):

- ❖ Fosfatasa: La cual se inactiva a temperaturas mayores de 70 °C, la presencia de esta enzima indica que la leche no se ha pasteurizado a la temperatura adecuada.
- ❖ Peroxidasa: Se inactiva a temperaturas mayores a los 80 °C. Si esta enzima está ausente significará que la leche ha sido pasteurizada a temperatura elevada.

- ❖ Lipasa: Esta enzima separa la grasa en glicerina y sus ácidos grasos. Los ácidos provocan olores y sabores desagradables. Se inactiva por pasteurización a temperatura baja.
- ❖ Reductasa: La presencia de esta enzima indica que la leche está contaminada con microorganismos.

### **3.3.4 Azúcares**

Los hidratos de carbono son importantes fuentes de energía, los carbohidratos en la leche están formados principalmente por la lactosa, la cual es un disacárido integrado por la condensación de una molécula de glucosa y otra de galactosa mediante un enlace glucosídico  $\beta$  (1, 4). Existen dos formas isoméricas,  $\alpha$  y  $\beta$ . Teóricamente, ambas pueden presentarse hidratadas o anhidras. Sin embargo, las más estables son la  $\alpha$ -hidratada y la  $\beta$ -anhidra (Badui, 1993).

La lactosa se digiere y asimila un tanto menos rápido que la mayoría de los azúcares y puede ser llevada al tracto digestivo inferior, en donde la suave acidez que desarrolla parece ayudar a la absorción, retención y asimilación de calcio. También puede mejorar la absorción del magnesio y del zinc.

La lactosa es el componente más lábil ante la acción microbiana; las bacterias de diversos tipos transforman la lactosa en ácido láctico y en otros ácidos alifáticos (Alais, 1970).

### **3.3.5 Sales**

Los cationes principales de la leche son calcio, magnesio, sodio y potasio y los aniones mayoritarios son fosfato, cloruro y citrato. El sodio, potasio y cloruros están presentes en la leche casi exclusivamente en forma ionizada soluble. El resto está en forma no ionizada o formando sales débilmente ionizadas; grandes cantidades están también, excepto los citratos, en forma coloidal ligados al complejo de caseinato (Scott, 1991).

### **3.3.6 Calcio**

Los minerales constituyen cerca del 4 % del peso del cuerpo humano adulto (Del Fabbro, 2001). Entre estos minerales encontramos al calcio, que representa hasta un 2 % del peso corporal; y cerca del 99 % del calcio que se encuentra en el organismo, formando parte de los huesos, dientes y matrices celulares (Rivas, 2000).

El calcio es un catión divalente que tiene la habilidad para formar complejos con proteínas, carbohidratos y lípidos. El consumo de este mineral disminuye riesgos de presentar enfermedades como la osteoporosis, hipertensión y cáncer de colon (Casanueva *et al.*, 1995). Debido a esto es importante incluirlo en la dieta. En condiciones normales la absorción es entre 20 y 40 % de lo que se ha ingerido.

Existen factores que favorecen la absorción del calcio, la lactosa es uno de ellos, así como ciertos aminoácidos que incrementan la acidez del intestino y favorecen la absorción. Entre los factores que disminuyen la absorción del calcio podemos citar a la grasa cuando se encuentra en grandes cantidades, por lo que es importante estandarizar la leche que se utiliza en la elaboración del yogurt.

Algunas de las funciones en las que interviene este mineral son, aparte de la formación de huesos y dientes, participa en la síntesis de proteínas responsables de la coagulación de la sangre, es factor esencial en la reacción y coordinación de la

contracción muscular, es esencial para las células vivas y ayuda a regular la actividad celular.

La mejor forma de lograr una ingestión óptima de calcio es a través de la dieta, con el consumo de alimentos ricos en calcio como productos lácteos, tortillas, semillas de ajonjolí, frijol y ciertas hierbas como epazote y quelite (Rivas, 2000).

De acuerdo a la complejión y peso de las personas, los requerimientos de éste mineral varían. De acuerdo al INNSZ (2001), en promedio se requieren 800 mg de calcio diarios en un adulto (mayores de 25 años), esto puede variar dependiendo de los alimentos que consuma la persona, de acuerdo a sus costumbres, del país en el que vive, ya que los requerimientos pueden ser mayores o menores (Alatraste, 2002).

#### **3.3.6.1 Deficiencias y excesos de calcio**

La osteoporosis constituye un problema de salud muy frecuente en las mujeres, principalmente las mujeres posmenopáusicas y en hombres después de los 50 o 60 años de edad, este problema ocurre por un conjunto de factores como son falta de ejercicio, ciertos desequilibrios hormonales, exposición al sol, poca ingestión de proteínas, vitamina D, fósforo y deficiencia de calcio. En contraste, el exceso de calcio, ocasiona un daño renal grave y calcificación de tejidos blandos (Del Fabbro, 2001).

#### **3.3.6.2 Fortificación con calcio**

La fortificación se define como la adición de nutrimentos a los productos alimenticios con el fin de enriquecerlos (Badui, 1993). De acuerdo a la Ley General de Salud (1996), el enriquecer es adicionar el mineral (calcio) en concentraciones superiores a las que el producto contiene normalmente.

El enriquecimiento también es la adición de nutrimentos en cantidades suficientes para hacer que el alimento sea una mejor fuente de éstos. Esto incluye la adición de nutrimentos que normalmente no están presentes en el alimento o la adición de niveles superiores a los presentes en el alimento sin procesar (Del Fabbro, 2001).

El calcio se puede utilizar para enriquecer alimentos como jugos, néctares, cereales, leche y productos lácteos. El yogurt por naturaleza tiene un gran contenido de calcio, pero se puede enriquecer aún más con este mineral (Alatraste, 2002).

### **3.3.7 Componentes minoritarios**

En la leche normal existen vitaminas e indicios de un gran número de elementos minerales. Igualmente existe una amplia variedad de sustancias nitrogenadas no proteicas, de éstas, la urea es la predominante (Villegas, 1993).

#### **3.3.7.1 Vitaminas**

La leche y sus derivados son fuente importante de estos nutrimentos.

##### **❖ Vitamina A**

La leche es una fuente importante de vitamina A y carotenos, los cuales son precursores de la vitamina A. Son liposolubles y se encuentran en la leche en la porción grasa, de ahí que su contenido varíe dependiendo del contenido graso, razón por la cual productos bajos en grasa son fortificados con esta vitamina (Badui, 1993).

La vitamina A es esencial para el crecimiento y para el mantenimiento de las capas superficiales de la piel.

### ❖ **Vitamina D**

La leche no es considerada como fuente de esta vitamina. La ventaja de fortificar leche y productos lácteos con vitamina D es que auxilia a la absorción y metabolismo del fósforo y calcio. Particularmente, la vitamina D es deseable para incrementar la utilización de calcio (Packard, 1983).

### ❖ **Otras Vitaminas**

Las siguientes sustancias están presentes en la porción no grasa de la leche y forman parte del complejo vitamínico B: *tiamina*, ésta es una vitamina soluble en agua que ha demostrado ser esencial para el crecimiento. Impide la enfermedad nerviosa como el Beriberi, y es parte integral de un sistema enzimático relacionado con el metabolismo de los hidratos de carbono. La *riboflavina* es soluble en agua y también es esencial para el crecimiento. Su presencia en la dieta es benéfica para impedir las lesiones características de la boca, piel y de los ojos. La *niacina* es uno de los factores que impide la pelagra. También facilita las reacciones enzimáticas relacionadas con el metabolismo.

El *ácido ascórbico* o vitamina C es la vitamina necesaria para impedir o curar el escorbuto. Se involucra en las reacciones enzimáticas del cuerpo. La leche contiene aproximadamente 56 mg de ácido ascórbico por litro (Alais, 1970).

## **3.4 Antecedentes**

### **3.4.1 Origen del yogurt**

Desde la antigüedad, el hombre encontró que de forma natural, ciertos productos presentaban una “alteración” en sus características iniciales y que sin embargo generaban un producto agradable a la vista y al paladar por su apariencia física, aroma y sabor. De esta forma, el hombre comienza a reproducir las condiciones de esa “alteración” a fin de obtener el mismo producto de forma controlada y constante, resultando así manjares exquisitos como el yogurt (Illescas, 2001).

El proceso de elaboración del yogurt es un arte que tuvo su origen hace cientos de años en los países del Medio Oriente, posteriormente desde la época de domesticación de la vaca, oveja y cabras. La permanencia de este proceso a través del tiempo puede atribuirse a las habilidades culinarias de los habitantes de esta zona así como también al hecho de que la escala de producción era relativamente pequeña y que esta práctica podía ser heredada de padres a hijos, sin embargo a través de los años el proceso se fue optimizando gracias a descubrimientos en disciplinas como: microbiología, enzimología, física, ingeniería, química y bioquímica (Tamime y Robinson, 1991).

La palabra “yogurt” se deriva de la palabra “jugurt” de origen turco, pero este producto de sabor ácido y aroma suave también es conocido con las denominaciones como Jugurt (Turco), Kissel (Balcanes), Zabady (Egipto), Roba (Irak), Cieddu (Italia), Iogurte (Brasil y Portugal), Yogurt/Yaort/Yourt/Yaourti/Yahourth (Resto del mundo), a pesar de que no existen documentos disponibles que prueben el origen del yogurt, la creencia de su beneficio en la salud y nutrición humana existió desde las antiguas civilizaciones. De acuerdo con la tradición persa era sabido que el yogurt proporcionaba longevidad, así mismo el emperador Francisco I de Francia reconoció haber sido aliviado de una enfermedad que lo debilitaba, gracias al consumo de yogurt elaborado a partir de leche de oveja (Tamime y Robinson, 1985).

El yogurt es un alimento y bebida tradicional de los Balcanes y Medio Oriente, pero su consumo se ha ido ampliando a toda Europa y resto del mundo, datos publicados por Tamime y Robinson en 1985, reflejan el importante rol del yogurt en la dieta de algunas comunidades europeas, y cómo este alimento se ha ido convirtiendo en parte importante de la dieta de muchos países.

### 3.5 Yogurt

La elaboración de yogurt es una de las técnicas más antiguas para preservar la leche, se obtiene de la fermentación de la leche por *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* (INNSZ, 2001), en la cual se libera ácido láctico que confiere sabor especial y modifica las características físicas de la leche. En el Cuadro III. se presenta la composición de este tipo de producto.

**Cuadro III.** Composición de yogurt por 100 g de producto.

Componentes	Contenido
Kilocalorías	50
Lípidos	1.7 g
Proteínas	3.4 g
Azúcares	5.2 g
Agua	89.0 g
Calcio	120 mg
Sodio	51 mg
Fósforo	94 mg
Hierro	Trazas
Potasio	143 mg

Adaptado de Kosikowski, 1977.

El yogurt se define como un alimento suave, viscoso y de sabor delicado, obtenido de la fermentación de la leche por bacterias ácido-lácticas en leche tibia, formando ácido láctico, el cual impide el desarrollo de bacterias nocivas (Kosikowski, 1977).

### **3.5.1 Tipos de yogurt**

El yogurt se encuentra en el mercado, generalmente en dos presentaciones, como yogurt asentado y como yogurt batido. Aunque Benezech y Maingonnat (1994) incluyen el yogurt bebible como un tercer tipo, este último será incluido dentro del tipo batido. En el primero, la estructura del gel es desarrollada durante la fermentación llevada a cabo dentro del envase, lo que determina un gel continuo semisólido; mientras que en el yogurt batido la estructura es formada durante la incubación a granel y desintegrada en los procesos posteriores para producir yogurt semiviscoso. El yogurt batido-bebible, es un yogurt de baja viscosidad, consumido normalmente como bebida refrescante (Tamime y Robinson, 1991). Su consumo está incrementando notoriamente en Norte América por lo general contiene preparados de fruta, sustancias saborizantes y pectina (Basak y Ramaswamy, 1994).

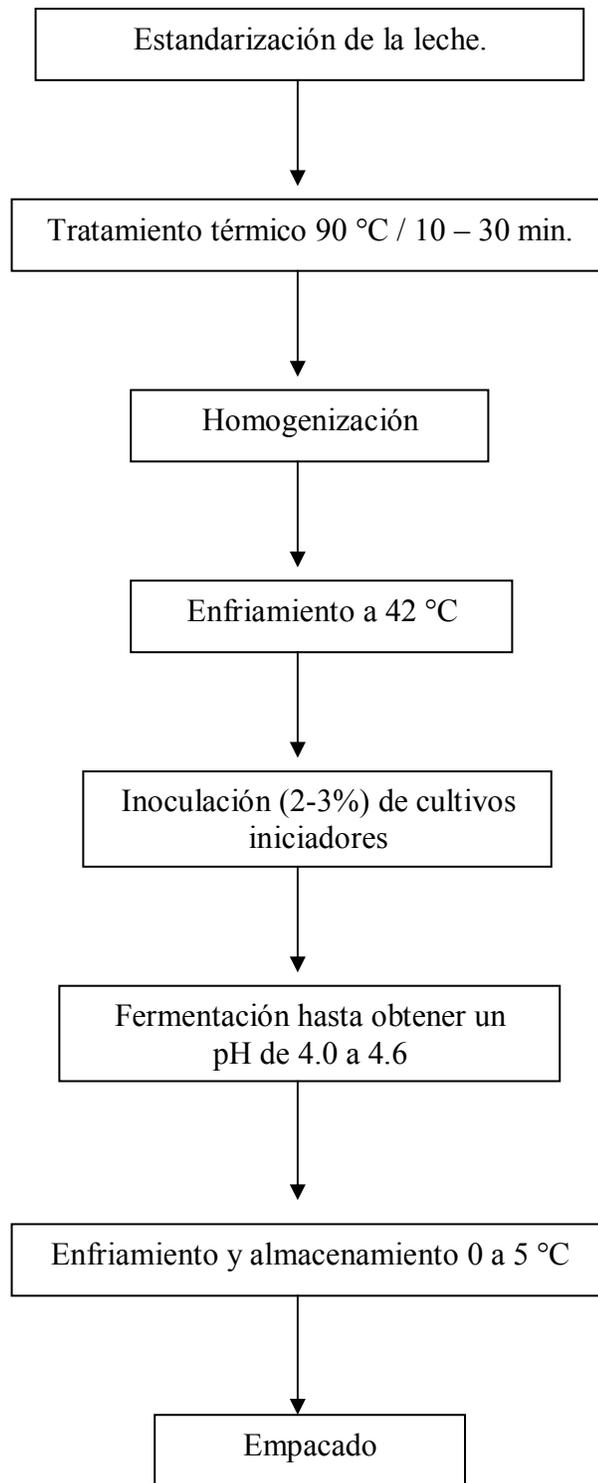
Otra variante es el yogurt congelado el cuál puede ser suave, duro o “mouse” (Tamime y Robinson, 1991). Es un producto cuyas características físicas son muy similares a las del helado, pero es similar al yogurt en cuanto a su composición. En este tipo de producto se requieren altas cantidades de azúcar y estabilizantes para mantener la estructura durante el proceso de congelación y almacenamiento (Tamime y Robinson, 1985).

En nuestros días, el yogurt congelado es un producto de baja acidez, si bien no existen estándares para este producto la industria maneja en general un mínimo de 0.30 % de acidez titulable con un mínimo del 0.15 % de acidez proveniente de la fermentación de las bacterias *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* (Davidson *et al.*, 2000). Finalmente, otro tipo de yogurt es el deshidratado el cuál se

puede obtener mediante procesos de secado por espreas o bien liofilización. El principal objetivo de la elaboración de yogurt en polvo es poder mantener a la leche en forma de un producto estable y fácilmente utilizable (Tamime y Robinson, 1985).

### **3.5.2 Proceso de elaboración del yogurt**

El proceso de elaboración de yogurt puede presentar muchas variantes, un método de preparación común es el que se presenta en la Figura 1, que corresponde a una variante del identificado por Tamime y Robinson (1991) como proceso mejorado.



**Figura 1.** Elaboración general de yogurt.

### 3.5.2.1 Elaboración del yogurt

La elaboración del yogurt se lleva a cabo por medio de una fermentación por la acción de algunos microorganismos y bacterias de la leche, los cuales hacen que se genere un sabor característico (Laye *et al.*, 1993). Es importante llevar a cabo el proceso a las temperaturas adecuadas y la cantidad necesaria de microorganismos, para que el yogurt tenga las características que se desean.

El proceso tradicional de elaboración del yogurt es muy antiguo (Fig. 1). En éste primero se concentra la leche, hirviéndola hasta reducir su volumen a 2/3 del inicial. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se le añade el cultivo de microorganismos iniciadores de la fermentación, los cuales se pueden obtener del yogurt hecho un día anterior o se hace una inoculación de estos microorganismos. Se deja reposar e incubar para que el coágulo se forme y posteriormente se refrigera (Tamine y Robinson, 1991).

El yogurt industrial se hace con leche de vaca, en general descremada y a veces enriquecida en extracto seco por adición del 2 al 5 % de un fermento láctico, que contenga en igual proporción *L. bulgaricus* o *L. helveticus* y *S. thermophilus* y la mezcla se distribuye en los recipientes, que se llevan a 35 °C; tras 2 a 5 horas la leche se cuaja y los recipientes se enfrían rápidamente. Según la temperatura de incubación puede obtenerse el predominio de una especie u otra; de esta forma es posible conseguir un producto más o menos ácido (0.85 – 0.90 %) y aromático, o hasta que el producto haya alcanzado un pH de 4.5. La duración de la incubación tiene también influencia; los estreptococos se desarrollan más rápidamente que los lactobacilos y este desarrollo está favorecido por una temperatura no muy elevada. Después de la incubación, se debe enfriar el yogurt rápidamente por debajo de 10 °C para detener una excesiva acidificación. Esta provoca la retracción de las proteínas coaguladas, que resulta en la separación del suero. El yogurt puede ser comercializado después de 10 hrs. de refrigeración a 5 °C. El buen yogurt se puede almacenar durante una semana a una temperatura de 17 °C (López-Malo, 2000).

### **3.5.2.2 Estandarización o normalización del contenido en grasa de la leche**

El contenido de grasa de los distintos tipos de yogurt elaborados en distintas partes del mundo varía de 0.1 a un 10 %, siendo necesario estandarizar la composición de la leche para cumplir las especificaciones fijadas por las normas legales o recomendadas de composición de yogurt. En el actual reglamento sanitario de los alimentos no se registran niveles mínimos de grasa, siendo éste determinado por el discernimiento del productor. Por otra parte en el Reino Unido, el contenido medio en grasa de la leche oscila de un 3.8 a un 4.2 % y el contenido en grasa del yogurt comercial es de un 1.5 % aproximadamente en yogurt entero y un 0.5% en yogurt descremado (Fox y McSweeney, 1998). Los métodos empleados para la estandarización de la leche incluyen:

- a) Eliminación de parte de la grasa de la leche.
- b) Mezcla de leche entera y descremada.
- c) Adición de grasa a la leche entera o descremada.
- d) Combinación de los métodos a y c, utilización de centrifugas para la estandarización.

La cantidad de cada uno de los componentes necesarios para la estandarización de la leche mediante alguno de los métodos anteriores puede ser fácilmente calculada por el método de Pearson (Linwood, 1950).

### **3.5.2.3 Estandarización del extracto seco magro de la leche**

La concentración de los sólidos no grasos de la leche tiene gran importancia en la obtención de un yogurt de consistencia y viscosidad agradable. También se ha comprobado que un aumento en el extracto magro de la leche disminuye considerablemente por el tiempo de obtención del coágulo. La correlación entre extracto seco de la leche y la consistencia del yogurt ha sido estudiada por Tamine y Robinson

(1991) quienes comprobaron que esta propiedad mejoraba notablemente al aumentar el extracto seco. De acuerdo a sus estudios y el de otros investigadores, la leche destinada a la elaboración de yogurt descremado debe contener aproximadamente un 9 % de extracto seco total (incluida la grasa) y hasta un 30 % para otros tipos de yogurt. El yogurt de mejor calidad se logra con un extracto seco total de entre un 14 a 15 %. Aunque para yogurt del tipo enriquecido se aconsejan concentraciones de 30 %. El aumento del extracto seco de la mezcla destinada a la elaboración de yogurt se puede lograr por diversos métodos que muestran Fox y McSweeney (1998) como:

- a) Concentración vía evaporación.
- b) Adición de leche en polvo descremada.
- c) Adición de mazada en polvo.
- d) Adición de suero de leche en polvo.
- e) Adición de caseína en polvo

#### **3.5.2.4 Tratamiento Térmico**

Este proceso es una de las operaciones más importantes de elaboración de yogurt, debido a que las altas temperaturas destruyen a los microorganismos patógenos de la leche y esto hace que la leche mantenga una buena calidad en el producto final (Potter y Hotchkiss, 1995).

Por principio, el yogurt se ha de calentar por un procedimiento de pasteurización autorizado. Para que el yogurt adquiriera su típica consistencia no sólo es importante que tenga lugar la coagulación ácida, sino que también se ha de producir la desnaturalización de las proteínas del suero, en especial de la  $\beta$  – lactoglobulina. Este proceso se produce a temperaturas  $> 75$  °C, consiguiéndose los mejores resultados de consistencia (en leches fermentadas) a una temperatura entre 85 y 95 °C.

El tratamiento térmico óptimo consiste en calentar a 90 °C y mantener esta temperatura durante 15 a 30 minutos.

Esta combinación de tiempo - temperatura también se emplea en la preparación del cultivo y es muy habitual en los procedimientos discontinuos de fabricación de yogurt. En los procedimientos de fabricación continua se suele mantener esta temperatura de 90 °C sólo durante un tiempo de 5 minutos con el fin de conseguir un mejor aprovechamiento tecnológico de la instalación (Illescas, 2001).

El tratamiento térmico no sólo destruye bacterias indeseables tales como las patógenas, sino que también elimina oxígeno creando condiciones adecuadas para el desarrollo de *L. bulgaricus* (Early, 1992).

### **3.5.2.5 Homogeneización de la leche**

La homogeneización consiste en reducir de tamaño y dispersar muy finamente las partículas emulsionadas en una mezcla líquida. Esta mezcla adquiere así estabilidad por un tiempo más prolongado, de esta forma los glóbulos grasos disminuyen de tamaño mediante el proceso de referencia. El diámetro uniforme que adquiere entonces oscila entre 1 y 3 micras. La superficie de cada uno de estos glóbulos se reduce hasta el punto de neutralizarse recíprocamente la fuerza ascensional y la masa de los mismos.

En la reducción de tamaño de glóbulos grasos tiene que romperse forzosamente la película de grasa y consecuentemente se modifica también la sustancia de ésta. No obstante, la rapidez del proceso de homogeneización y la tensión superficial hacen que se forme inmediatamente una nueva película en torno a los glóbulos grasos achicados, de tal modo que la grasa no escapa del plasma. Dado el número de glóbulos grasos se multiplica aproximadamente por 1000, su superficie es de 8 a 10 veces mayor después de la homogeneización. Estas transformaciones de la estructura química de la leche

tienen consecuencias tecnológicas que se traducen en ventajas y también en inconvenientes (Spreer, 1975).

#### Ventajas

- a) No se forma nata, distribución regular de la grasa.
- b) Reducción del tiempo de coagulación de las proteínas por el cuajo en un tercio aproximadamente.
- c) Acción antioxidante. De ahí que la leche no ofrezca el sabor causado por la oxidación.
- d) Sabor agradable por aumentar la superficie de los glóbulos grasos.
- e) Distribución uniforme de las vitaminas solubles en la materia grasa.
- f) Mejora la viscosidad del producto final (Potter y Hotchkiss, 1995).

#### Inconvenientes

- a) La leche no puede desnatarse ya eficazmente.
- b) Sensibilidad a la luz solar, originándose rápidamente un mal sabor.
- c) Escasa estabilidad de las proteínas al calor (Spreer, 1975).

El proceso de la homogeneización, en términos generales se realiza entre 60 a 70 °C, y con una presión que va de 150 a 200 atm. La homogeneización puede efectuarse tanto antes como después del tratamiento térmico (Tamine y Robinson, 1991).

### **3.5.2.6 Preenfriamiento e Inoculación**

Una vez finalizado el tratamiento térmico, la leche debe enfriarse hasta la temperatura de incubación que varía entre 40 – 45 °C, posteriormente se inicia el proceso de incubación con el inóculo de los fermentos, este proceso se caracteriza por la coagulación de la caseína de la leche.

Este proceso tiene por objeto proporcionar las condiciones de temperatura y tiempo para que se desarrolle óptimamente el cultivo inoculado responsable de la fermentación láctica y formación de compuestos responsables del sabor y aroma del yogurt. La incubación se efectúa óptimamente a una temperatura de 40 a 45 °C durante 2.5 a 3 horas hasta que coagule (Tamine y Robinson, 1991).

Según la Ley General de Salud en México (1996) la acidez final del yogurt debe ser de 0.85 a 1.8% expresada como porcentaje de ácido láctico (en un producto de mediana acidez); el pH debe tener un valor entre 4.2 a 4.5, siendo el pH óptimo de 4.6 para obtener el aroma y características deseables.

#### **3.5.2.6.1 Características del cultivo.**

Los cultivos de yogurt deben contener, como microorganismos, exclusivamente las siguientes especies bacterianas termófilas: *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*.

Las temperaturas óptimas de crecimiento para estos microorganismos son de 37 – 42 °C y de 42 – 45 °C, respectivamente.

*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* han de estar, en el cultivo preparado (y por tanto también en el yogurt), en una relación cuantitativa de 1:1 a 2:3, aproximadamente.

Esta relación se establece esencialmente en base a tres factores:

- a) Cantidad inoculada
- b) Temperatura de incubación
- c) Tiempo de incubación.

Después de realizada la siembra, la relación entre microorganismos se modifica varias veces durante el transcurso de la incubación para volver a adquirir al final del proceso el valor inicial. El origen de esto se halla en las relaciones de verdadera simbiosis que se establece entre las dos especies bacterianas.

En esta simbiosis es *S. thermophilus* la especie que inicia la fermentación láctica y el que se desarrolla muy intensamente hasta un pH de 5.5 la acidez, el consumo de oxígeno y la liberación de sustancias volátiles que produce, crea las condiciones ideales para que se desarrolle el *L. bulgaricus*.

La actividad proteolítica, de los lactobacilos estimula, a su vez, el crecimiento y la actividad acidificante de los estreptococos. Los lactobacilos desarrollan aparte una actividad lipolítica, por la que se liberan ácidos grasos y producen además acetaldehído (etanal), constituyéndose así en los principales productores de aroma del yogurt.

La calidad de un cultivo se analiza, aparte de la relación cocos-bacilos, por el número absoluto de gérmenes.

Un buen cultivo de uso ha de presentar de 2 a 4 millones de gérmenes por centímetro cúbico (Tamime y Robinson, 1991) .

### **3.5.2.7 Enfriamiento**

El enfriamiento se ha de realizar con la mayor brusquedad posible para evitar que el yogurt siga acidificándose (Illescas, 2001).

El enfriamiento del yogurt por medio de la refrigeración es uno de los métodos más utilizados para controlar la actividad metabólica de los cultivos iniciadores y sus enzimas. El enfriamiento del coágulo comienza inmediatamente después de alcanzar una acidez óptima del producto, es decir, un pH aproximado de 4.6 o una concentración de

ácido láctico del 0.9%, dependiendo del tipo de yogurt producido (Tamime y Robinson, 1991).

### **3.5.2.8 Envasado**

Los materiales de envasado para yogurt se dividen básicamente en 2 grupos:

- ❖ El envase propiamente dicho, es decir, el recipiente que contiene el yogurt y está en contacto directo con él, al que son aplicables las especificaciones para el “envase ideal”.
- ❖ El embalaje, que no está en contacto directo con el yogurt y cuya finalidad es facilitar el manejo y distribución de los envases en las cadenas de comercialización.

En el mercado existen distintos tipos de envases que pueden clasificarse en tres grupos en función de la resistencia física de los mismos (Tamime y Robinson, 1991):

#### **1. Envases rígidos.**

- ❖ Botellas de vidrio: En algunos países como Francia, algunos países de Europa del Este y Oriente Medio, se siguen utilizando envases de vidrio para el envasado del yogurt.
- ❖ Envases de barro: Este tipo de recipientes se fabrica a partir de arcilla, estando vitrificada la parte de los mismos que entra en contacto con el yogurt.
- ❖ Otros: Para el envasado de algunos productos derivados del yogurt, por ejemplo yogurt deshidratado, es recomendable la utilización de recipientes metálicos.

## **2. Envases semirígidos.**

Estos envases se fabrican normalmente con plásticos. Entre los distintos materiales que pueden ser utilizados para la fabricación de envases para yogurt se incluyen: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y cloruro de polivinilideno (PVDC).

## **3. Envases flexibles.**

Los envases flexibles se pueden presentar como bolsas de plástico o como envases de papel (Tamime y Robinson, 1991).

### **3.5.2.9 Almacenamiento Frigorífico, Transporte y Distribución**

La refrigeración del yogurt a temperaturas inferiores a 10 °C y su mantenimiento a ésta temperatura hasta el momento de su venta, retardan las reacciones bioquímicas y biológicas que tienen lugar en el producto. Las reacciones biológicas son el resultado de la actividad metabólica de los cultivos del yogurt y posiblemente de los microorganismos contaminantes que resisten el tratamiento térmico y los procesos de fermentación, o bien contaminan el producto tras su elaboración, por ejemplo levaduras y mohos. Las reacciones bioquímicas incluyen (Tamime y Robinson, 1991):

- ❖ Oxidación de las grasas en presencia de oxígeno.
- ❖ Hidratación de las proteínas.
- ❖ Modificación del color de las frutas adicionadas, que se vuelven más pálidas debido a la acidez del producto.
- ❖ Ligera deshidratación con el consiguiente cambio de aspecto del yogurt.
- ❖ Mejora de la viscosidad y consistencia del producto durante el almacenamiento, gracias a la hidratación de los estabilizantes añadidos y/o las pectinas de las frutas.

La refrigeración del yogurt resulta esencial para reducir al mínimo estas reacciones, permitiendo conservar la calidad del producto hasta varias semanas después de su fabricación. Durante las primeras 24-48 horas de almacenamiento en refrigeración se observa una mejora de las características físicas del coágulo, principalmente como consecuencia de la hidratación y/o estabilización de las micelas de caseína, por lo que resulta aconsejable retrasar el reparto y distribución del producto durante este tiempo (Tamime y Robinson, 1991).

### **3.6 Propiedades físicas y químicas relacionadas con el yogurt**

#### **3.6.1 pH**

El valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia (es la medida de la concentración de iones de hidrógeno presentes). Los valores de pH se representan en una escala que va del 1 al 14, donde el valor de 7, es para un producto neutro como el agua, por arriba de este valor son productos básicos y por debajo son ácidos, como es el caso del yogurt.

En un alimento el pH se determina por el balance entre las sustancias ácidas en el mismo y la capacidad del buffer. De acuerdo al pH, los alimentos se clasifican en cuatro grupos:

- a) Los de acidez alta ( $\text{pH} < 3.7$ )
- b) Los ácidos ( $\text{pH} < 4.6$ )
- c) Los de acidez intermedia ( $4.6 < \text{pH} < 5.3$ )
- d) Los de acidez baja ( $\text{pH} > 5.3$ ) (Flores, 1980).

La leche tiene un valor de pH entre 6.5 y 6.7 (Tamime y Robinson, 1991). Los valores de pH de un yogurt están en un rango de 4 a 4.5 (Teuber, 1995), pero Oberman (1985) menciona que este valor está entre 4.2 a 4.3.

El pH es una de las propiedades principales, ya que la disminución de pH en yogurt contribuye al olor y sabor característico.

### **3.6.2 Ácido láctico**

La acidez en productos lácteos es expresada como porcentaje de ácido láctico. Según la Ley General de Salud (1996) el porcentaje de ácido láctico presente en el yogurt oscila entre 0.8- 1.8 % de ácido láctico.

El aumento en la acidez en yogurt por la producción de ácido láctico ocasiona la coagulación de la caseína, además afecta la textura y el sabor en el producto (Fennema, 1993).

El porcentaje de ácido láctico adecuado es extremadamente importante para la producción de yogurt de alta calidad con sabor, cuerpo y textura propia, que exhiba el mínimo porcentaje de sinéresis durante el almacenamiento (Ankenman, 1996).

Gracias a la producción de ácido láctico, el pH baja y las micelas de caseína se desestabilizan formando el gel característico del yogurt.

### **3.6.3 Sinéresis**

La sinéresis se define como la capacidad de retención de agua por un alimento o bien, el suero que se desprende del producto y que se acumula en la superficie (Óztur y Öner, 1999).

Un factor que influye en el aumento de la sinéresis es el desarrollo de alta acidez, así como la agitación a temperaturas relativamente altas, también se ve afectada por la presencia de aditivos como pueden ser gomas, la adición de minerales aumenta el porcentaje de sinéresis (Tamime y Robinson, 1991).

Argaiz (2003) menciona que cualquier tratamiento que modifique la interrelación normal entre el agua y los otros constituyentes alimenticios, causará que se altere el carácter típico del alimento.

#### **3.6.4 Humedad**

La humedad es la cantidad de agua presente en el alimento. Los enlaces que tiene el agua con otros elementos presentes es de fundamental importancia en la industria alimenticia ya que determinan la funcionalidad, el aprovechamiento y la estabilidad de los alimentos en su almacenamiento (Cadden, 1988). El conocer la cantidad de agua libre que se encuentra en el alimento ayuda a prevenir algunas reacciones de crecimiento microbiano indeseable (Potter y Hotchkiss, 1995).

La cantidad de humedad que una fibra puede retener está en función de la fuente de fibra. Los enlaces con el agua están determinados por polisacáridos y proteínas macromoleculares hidrofílicas (Kim y Bhomik, 1995).

El contenido de humedad del yogurt es de 87.8 % según Gambelli *et al.*, (1999), pero su valor depende del tipo de leche y sólidos solubles en ella.

#### **3.6.5 Color**

El color es una característica de calidad en los alimentos, el color de los productos lácteos es causado por la dispersión de la luz por los constituyentes de la leche: los glóbulos de grasa, las micelas de la caseína, el fosfato de calcio coloidal, algunos pigmentos y la riboflavina. Al adicionar más sólidos, mayor es la dispersión por lo que el producto contiene menor luminosidad y blancura (Harper y Hall, 1981).

El color se mide tomando en cuenta los parámetros L, a y b de la escala Hunter donde cada uno representa:

- ❖ L : Luminosidad u oscuridad.
- ❖ a : Contribución roja (+) a verde (-).
- ❖ b : contribución amarilla (+) a azul (-).
- ❖  $\Delta E$ : cambio neto de color.

El color es una de las principales causas de que un producto sea comprado por el consumidor o rechazado, no obstante no refleja el sabor o el valor nutricional del mismo (Harper y Hall, 1981).

### **3.6.6 Densidad**

La densidad es una prueba que se realiza a la leche fresca con objeto de comprobar si existe alguna adulteración del producto. La densidad absoluta es igual a la masa de la sustancia dividida por el volumen que ocupa. La densidad relativa es el cociente de dividir el valor de la masa de un volumen de leche por la masa de un volumen igual de agua a 4°C (Poded, 1966).

La densidad de los productos lácteos se ha reportado a 15 °C como gravedad específica y se encuentra entre 1.032 - 1.036 (Harper y Hall, 1981).

### **3.6.7 Propiedades Reológicas**

La reología es el estudio físico del comportamiento de los materiales, es una rama de la física que puede definirse como la ciencia de la deformación y de las propiedades de flujo. Se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia, trata también de la fricción entre sólidos, del flujo de polvos, e incluso de la reducción a partículas, o molturación (Muller, 1977).

La industria de alimentos utiliza con frecuencia medidas reológicas, pero las obtiene por procedimientos susceptibles de ser considerablemente mejorados. Los alimentos,

además de ofrecer un olor, un color y un sabor característicos, exhiben determinado comportamiento mecánico: reaccionan de un cierto modo, cuando se intenta deformarlos (Muller, 1977).

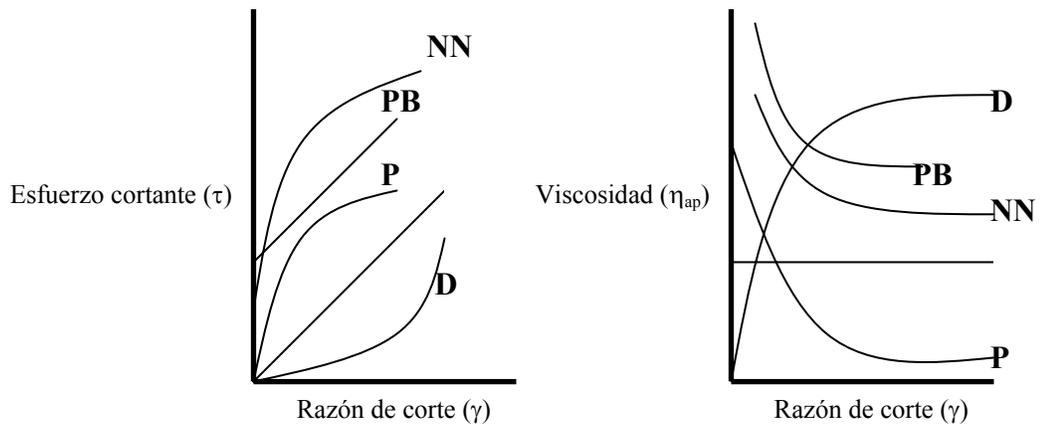
Las propiedades reológicas de los alimentos son importantes para diseñar el proceso del fluido, control de calidad, almacenamiento, procesamiento y predecir la textura del alimento. La textura que se da durante la coagulación del yogurt es una característica importante que determina la aceptabilidad del producto (Shaker *et al.*, 2000).

De acuerdo a Muller (1977), existen 4 razones fundamentales para justificar el estudio del comportamiento reológico de los cuerpos:

- ❖ Contribuye al conocimiento de su estructura; por ejemplo, existe cierta relación entre el tamaño y forma molecular de las sustancias en disolución y su viscosidad.
- ❖ En la industria se efectúan medidas reológicas en las materias primas y los productos en elaboración, para el control de los procesos.
- ❖ La reología presta una valiosa ayuda al diseño de las máquinas.
- ❖ Las características reológicas influyen en la aceptación de un producto

### **3.6.7.1 Fluidos no Newtonianos**

Se define como aquél que exhibe flujo uniforme, pero para el que no es constante la relación entre tensión tangencial y velocidad de deformación. La viscosidad no es constante. La viscosidad de los fluidos no newtonianos, depende de la velocidad de deformación (Figura 2).



**Figura 2.** Reogramas correspondientes a diferentes tipos de comportamiento de líquidos: D = dilatante; N = fluido Newtoniano; P = pseudoplástico; PB = plástico de Bingham; NN = fluido no Newtoniano. Adaptado de Aguirre (2002).

### 1. Pseuplásticos

Los fluidos pseudoplásticos son menos espesos cuando se someten a altas velocidades de deformación que cuando se cizallan lentamente. La viscosidad aparente depende en ellos de la velocidad de deformación por cizalladura. La velocidad de deformación aumenta en proporciones más altas que la tensión tangencial, de manera que la viscosidad aparente desciende a medida que aumenta la velocidad de deformación.

### 2. Dilatantes

Es un fenómeno de espesamiento independiente del tiempo, que se da a altas velocidades de deformación; se trata del fenómeno opuesto a la pseudoplasticidad. La viscosidad aparente aumenta al aumentar la velocidad de deformación.

### **3. Tixotrópicos**

La tixotropía es un ablandamiento dependiente del tiempo. En estos fluidos la viscosidad aparente desciende a medida que aumenta la velocidad de deformación. El descenso de la viscosidad no está relacionado exclusivamente con la velocidad de deformación, sino también con el tiempo.

### **4. Reopécticos**

La reopexia es un espesamiento dependiente del tiempo, existen dos valores de  $\dot{\gamma}$  (velocidad de deformación) para cada valor de  $\tau$  (esfuerzo cortante), y a la inversa. Los fluidos reopécticos son el fenómeno inverso de la tixotropía.

#### **3.6.7.2 Comportamiento Reológico**

Los materiales pueden ser clasificados reológicamente de acuerdo con su comportamiento ante el esfuerzo y la deformación, en sólidos, líquidos o viscoelásticos. Comportamientos de fluido, sólido y viscoelástico se observan en los productos lácteos. La leche y leche evaporada se comportan como fluidos newtonianos, pero la leche condensada se comporta como un fluido no-newtoniano, al igual que la crema y el yogurt, esta clasificación se realiza dependiendo de la relación entre el esfuerzo cortante y la rapidez de deformación cortante (Vélez, 2003).

Geles de suero y algunos tipos de queso han sido caracterizados como sólidos con comportamiento elástico. Algunos otros productos como la crema batida, el yogurt, helado y queso han sido considerados con una naturaleza viscoelástica (Vélez y Barbosa, 1997).

Cuando una fuerza es aplicada a un material sólido puede haber una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, la relación básica es conocida como la Ley de Hooke y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\tau}{\gamma}$$

Donde:

E = modulo de elasticidad

$\tau$  = esfuerzo cortante

$\gamma$  = deformación

Este modelo ha sido empleado para describir el comportamiento de algunos alimentos como pasta seca, caramelos duros y cáscara de huevo.

Los líquidos responden al comportamiento descrito por la Ley de Newton, esta ecuación expresa el concepto de viscosidad de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Donde:

$\eta$  = viscosidad dinámica, coeficiente de viscosidad o simplemente viscosidad.

$\tau$  = esfuerzo cortante

$\dot{\gamma}$  = velocidad de deformación

A los fluidos que obedecen a esta ley se les denomina fluidos newtonianos, mientras que los que no la siguen son llamados fluidos no-newtonianos.

El comportamiento de los fluidos se representa mediante reogramas que son gráficas que muestran la relación del esfuerzo cortante o viscosidad contra la velocidad de deformación (Vélez, 2003).

### 3.6.7.3 Modelos Matemáticos

Los diferentes tipos de comportamiento de los líquidos se representan mediante modelos matemáticos que han sido ampliamente utilizados para la caracterización reológica de los alimentos. Los modelos que más frecuentemente se utilizan se muestran a continuación:

- ❖ Modelo de Newton  $\tau = \eta\gamma$
- ❖ Ley de la potencia  $\tau = k \gamma^n$
- ❖ Modelo de Bingham  $\tau = \tau_o + \eta_p \gamma$
- ❖ Modelo de Herschel – Bulkley  $\tau = \tau_o + k \gamma^n$

Donde:  $\gamma$  = Razón de corte

$\tau$  = Esfuerzo cortante

$\eta$  = Viscosidad

$k$  = Coeficiente de consistencia

$n$  = Índice de flujo

$\tau_o$  = Esfuerzo de cedencia

$\eta_p$  = Viscosidad plástica

## 3.7 Fibra

### 3.7.1 Clasificación de la fibra

Dentro de la terminología utilizada para referirnos a la fibra, es importante diferenciar tres conceptos que todavía aparecen con relativa frecuencia en la literatura general: fibra cruda, fibra vegetal y fibra dietética. La fibra cruda es, por definición, el residuo obtenido tras el tratamiento de los vegetales con ácidos y álcalis. Es decir, es un concepto más químico que biológico. La fibra vegetal se refiere fundamentalmente a los elementos fibrosos de la pared de la célula vegetal. Por último, la fibra dietética engloba todo tipo de sustancias, sean fibrosas o no, y que, por tanto, incluye la celulosa, la lignina, las pectinas, las gomas y otros (Gómez *et al.*, 2002).

Esta clasificación sólo tiene una importancia práctica a la hora de elaborar una dieta, cuando es necesario calcular una cantidad precisa de fibra. Sin embargo, cuando se cita a la fibra se refiere siempre a la fibra dietética. Es importante diferenciar estos conceptos, ya que los contenidos de fibra de nuestros alimentos habituales varían sustancialmente al referirnos a un tipo u otro (Cuadro IV).

**Cuadro IV.** Contenido de fibra dietética en algunos alimentos.

<b>Alimento 100 g</b>	<b>Fibra dietética (g)</b>
Almendras	2.7 – 12.9
Ciruela pasa	2.8 – 12.8
Frambuesa	2.5 – 6.7
Guayaba	3.3 – 4.7
Higo	6.9 – 12.4
Pasas	2.0 – 6.1
Plátano	1.1 – 3.1
Nuez	2.0 – 21.1

(McCance y Widdowson's, 1991)

Sin embargo, la clasificación de la fibra que más nos interesa desde el punto de vista biológico es aquella que parte de su grado de solubilidad en agua. La fibra se encuentra como fibra dietética soluble e insoluble. La fibra desempeña, en la planta de donde procede, dos funciones fundamentales: la estructural y la no estructural. La fibra estructural incluye componentes de la pared celular, como la celulosa, la hemicelulosa y la pectina. La fibra no estructural está formada por las sustancias que secreta la planta como respuesta a las agresiones o lesiones que sufre. Estos compuestos son: mucílagos, gomas o polisacáridos de algas (Cadden, 1988).

### **3.7.2 Fibra dietética**

La fibra dietética es un carbohidrato. Los carbohidratos de la fibra dietética (celulosa, hemicelulosa, pentosas y sustancias pécticas), no son hidrolizados significativamente por las enzimas digestivas, sin embargo son importantes en salud humana (Fennema, 1993).

Los carbohidratos se dividen en dos grupos, que serían como disponibles y no disponibles. Los carbohidratos disponibles varían con el grado de absorción y la utilización que depende de la cantidad ingerida y tipo de alimentos (Schneeman, 1989).

Se conoce con el nombre de fibra a diversos compuestos de origen vegetal que presentan como común denominador el estar constituidos por macromoléculas no digeribles, debido a que las enzimas del intestino humano no pueden hidrolizarlas. Así, la fibra dietética se define como “un conjunto de macromoléculas de origen vegetal no digeribles (polisacáridos y lignina) por las enzimas digestivas del hombre” (Trowell, 1976).

La fibra dietética se refiere al grupo complejo de sustancias de plantas que resisten a las enzimas digestivas del humano, está compuesta de un número complejo y altamente variable de compuestos químicos, cada uno con un arreglo químico y estructural único que imparte propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales. Estos compuestos presentan distintos cambios en sus tejidos durante su crecimiento y maduración de la planta que hacen que cambie la distribución de componentes, así como también se ven afectados por el tiempo de almacenamiento, procesamiento y cocimiento (Dreher, 1987).

Dreher (1987) define fibra dietética como “la suma de polisacáridos y lignina que no son digeridos por las secreciones endógenas del trato digestivo”.

Los niveles de fibra recomendados según la ingesta diaria (INNSZ, 2001) son de 25 a 30 g de fibra dietética total por día incluyendo los dos tipos de fibra soluble e insoluble. Por otro lado se sabe que se recomienda una ingesta de 10 g de fibra insoluble.

### **3.7.3 Características de la fibra dietética**

- ❖ Son sustancias de origen vegetal
- ❖ Es un conjunto muy heterogéneo de moléculas complejas
- ❖ Es inatacable por los fermentos y las enzimas digestivas
- ❖ Es parcialmente fermentada por las bacterias cólicas
- ❖ Es osmóticamente activa (Mazza, 1998)

### **3.7.4 Fibra dietética soluble**

La fibra dietética soluble se disuelve en agua y es degradada por las bacterias, puede ser encontrada en alimentos como haba, maíz, avena, cebada, guisante, col, lenteja, zanahoria, col, albaricoque, pasa, zarzamora, arándano, germen, manzana, plátano, cítrico agrio, gomas y algas, por nombrar algunos. La fibra soluble aumenta el volumen y el contenido en agua, forma un gel en los intestinos que regula el flujo del material de desecho a través de la zona digestiva, retarda el tiempo en que se vacía el estómago. Esto retrasa la absorción de la glucosa de la sangre y se ha mostrado que también baja los niveles de colesterol. No hay efecto secundario o reacción peligrosa a la fibra dietética ya que cuando se aumenta la fibra, el agua debe ser aumentada (Cadden, 1988).

Las fibras solubles (gelificantes) son totalmente diferentes. En contacto con el agua forman un retículo donde queda atrapada el agua, gelificándose la mezcla. De este grupo forman parte las gomas, los mucílagos y las pectinas, así como algunas hemicelulosas. El tamaño y forma de la partícula ingerida es muy importante debido a que influye en la capacidad de captar agua (Schofield, 1995).

### **3.7.5 Fibra dietética insoluble**

La fibra dietética insoluble no se disuelve en agua y pasa a través del sistema digestivo sin cambiar. Se estima que 65 a 75 % de la fibra dietética en nuestra dieta es insoluble. La fibra insoluble se puede encontrar en el salvado (la cubierta externa del maíz, de la avena, del arroz, del trigo), los granos enteros (maíz, cebada, arroz, trigo, avena), los cereales, las pieles comestibles de frutas y de vehículos, apio, arroz moreno, y algunos vehículos. La fibra insoluble acelera el tránsito intestinal, aumenta el peso fecal, retarda la hidrólisis del almidón, y retrasa la absorción de la glucosa. Ayuda a la obtención de heces más suaves, más grandes. También da lugar a una frecuencia creciente de la defecación. Mientras que las heces se mueven a través del intestino, raspan las paredes intestinales y quitan la materia inútil, la fibra dietética juega un papel muy importante en la diabetes, incluyendo efectos potenciales sobre saciedad, obesidad y la absorción de ciertos azúcares. También se cree que la fibra soluble puede retardar la digestión y la absorción de carbohidratos (Cadden, 1988).

Las fibras insolubles (fibrosas) captan poca agua y forman mezclas de baja viscosidad. Entre ellas se encuentran la celulosa, algunas hemicelulosas y, sobre todo, la lignina, que es la más hidrofóbica de todas las fibras. De hecho, a medida que la planta va madurando y se va haciendo más rica en lignina, va perdiendo progresivamente contenido en agua. Los diferentes tipos de fibras se diferencian entre sí por su composición y sus propiedades físicoquímicas. Estas se determinan, por lo general, in vitro y sólo sirve para darnos una idea de su comportamiento in vivo, ya que en este medio están sometidas a un entorno fisiológico muy complejo y a una serie de mecanismos que pueden modificarlo (Gómez, *et al.*, 2002).

### **3.7.6 Propiedades importantes de la fibra**

Las propiedades más importantes de la fibra se pueden resumir de la siguiente forma.

**a) Resistencia a la digestión:** Como se ha señalado en la definición de fibra dietética, el sistema enzimático humano no es capaz de atacar o digerir las diferentes sustancias que la componen. Los animales herbívoros pueden utilizar la fibra, sobre todo la celulosa, ya que poseen una abundante microflora en la panza (rumen) con la correspondiente enzima celulosa (Mazza, 1998).

**b) Capacidad de absorción y retención de agua:** Todas las fibras son capaces en un medio acuoso de captar agua hasta cierto límite, que está condicionado sobre todo por su grado de solubilidad. Además, intervienen el tamaño y la conformación de las partículas e incluso el valor del pH y la concentración de los electrolitos del medio. La absorción de agua se produce por fijación a la superficie de la fibra o por atrapamiento en el interior de la estructura macromolecular. Según Mazza (1998), las fibras solubles que presentan una estructura de polisacárido, permite la fijación de agua. Esta puede ocurrir por diferentes mecanismos:

- ❖ Por vía química, fijándola a los grupos hidrófilos de los polisacáridos.
- ❖ Por acumulación en la matriz de la fibra (fuera de la célula).
- ❖ Por acumulación en los espacios interparietales (Gómez *et al.*, 2002).

**c) Fijación de sustancias orgánicas e inorgánicas:** La fibra dietética pasa a través del intestino, donde desarrolla su capacidad de hidratación y de adsorción (fijación), variable en sustancias orgánicas e inorgánicas. Estas sustancias, que pueden quedar simplemente atrapadas en el interior de la estructura química de la fibra o bien “ligadas” por enlaces químicos a ésta, son las siguientes (Cadden, 1988).

- ❖ Proteínas, hidratos de carbono y grasas
- ❖ Sales biliares
- ❖ Minerales y vitaminas

#### **d) Efectos fisiológicos de la fibra:**

- ❖ Aumento del peso y disminución de la consistencia de las heces.
- ❖ Disminución del tiempo de tránsito intestinal. Existe una relación inversa entre el peso de las heces y el tiempo de tránsito, de manera que a mayor peso, menor tiempo de tránsito, y viceversa.

Como dice Sebrell y Haggerty (1985) las fibras solubles, que son las que mayor volumen consiguen por su gran capacidad de retención de agua, aumentan poco el peso de las heces debido a que son fermentadas en el colon. Al ser destruida su estructura por el ataque bacteriano, pierden su capacidad de retener agua. No obstante, consiguen aumentar el peso de las heces, pero es a costa del mayor crecimiento bacteriano que se produce en el colon. Las fibras insolubles, por el contrario, no pierden su capacidad de retener agua ya que son resistentes a la fermentación bacteriana.

### **3.8 LINAZA**

La linaza es la semilla de la planta de lino, una especie anual de entre 0,3 y 1 metro de altura, de la familia de las Lináceas, que se cultiva para producir fibra y aceite de lino y linaza, el cual es un aceite secante que se utiliza para la fabricación de pinturas, linóleo y jabones suaves.

El Lino es originario del Oriente, pero cultivado en numerosos países de clima templado de Europa y América. Su tallo es erguido y sus hojas alargadas y estrechas. Las hojas del lino son sésiles (sentadas), alternas, lineales, lanceoladas (como una lanza). Sus flores son de color azul claro o blancas con 5 pétalos, reunidas en corimbo terminal (umbela).

El fruto del lino es una cápsula globulosa, que está situada en las extremidades de las ramas, en cápsulas ovaladas cada una de las cuales contiene de una a diez semillas de color marrón, agudas en el extremo y muy brillantes.

### **3.8.1 Historia**

El origen de la linaza no está definido con exactitud, posiblemente sea del Mediterráneo o de Asia occidental. Se cultiva en Sudamérica en regiones templadas y subtropicales como fuente de fibra, aceite y para usos medicinales. Se propaga por medio de semillas en suelos bien abonados y drenados.

Es un producto milenario. Los arqueólogos la encontraron en prendas de lino halladas en las pirámides; en La Odisea, de Homero se menciona como material para la construcción de embarcaciones; y en la Biblia tiene también algunas apariciones. En Egipto antiguo se utilizaba para la preparación de aceites para embalsamar a las momias.

Algunos registros muestran que en el sur de la antigua Mesopotamia se usaba el riego para cultivar linaza. Los babilonios cultivaron semilla de linaza desde el año 3000 A. C. y un milenio después, Hipócrates usaba la semilla de linaza para aliviar el malestar intestinal.

La semilla de linaza era tan importante para la salud en estas épocas que en el Siglo VIII, Carlo Magno emitió leyes y reglamentos que regían su consumo.

Las propiedades de la linaza son múltiples y tienen que ver principalmente con su alto contenido de ácidos grasos omega 3, proteínas, vitaminas y fibra dietética soluble e insoluble.

Muchas personas estiman que el efecto más profundo del uso de la linaza es el estado de calma que se disfruta a pocas horas de ingerirla, es excelente para personas que llevan un ritmo acelerado de vida o para quien trabaja bajo presión (Williams, 2001).

### **3.8.2 Aspectos Generales**

La semilla de linaza es una de las fuentes más ricas de lignanos, un tipo de fitoestrógeno. Los fitoestrógenos son un grupo diverso de compuestos derivados de plantas que pueden interferir con el metabolismo de estrógenos en animales y humanos. De hecho, los fitoestrógenos pueden tener efectos biológicos contrarios, exhibiendo ambas actividades estrogénicas y antiestrogénicas (Rose, 1993).

Los lignanos tienen numerosas propiedades biológicas, las que incluyen antimitosis (división celular), fungicidas, antioxidantes (Serraino y Thompson, 1991). Los lignanos de la semilla de linaza y otros lignanos son actualmente investigados por sus propiedades anticancerígenas.

Los lignanos están ampliamente distribuidos en el reino vegetal encontrándose en la mayoría de los granos sin refinar tales como cebada, mijo, trigo sarraceno, avena; leguminosas como la soya; en vegetales como brócoli, zanahoria, coliflor y espinaca. La fuente más importante de lignanos es la semilla de linaza. La linaza contiene altos niveles del precursor vegetal de lignanos llamado secoisolariciresinol diglicósido (SDG), y provee de 75-800 más lignanos vegetales que otras fuentes encontradas en dietas vegetales (Thompson, 1995).

### 3.8.3 Linaza Canadiense

La Linaza de Canadá, es un complemento alimenticio excelente ya que contiene cinco veces más fibra que cualquier otro grano. Entre sus principales componentes se encuentra: aceite omega 3, ligninas, fibra, vitaminas y proteínas.

El aceite omega 3 permea cada una de las células del cuerpo, facilitando la comunicación celular y regulando la insulina. Cabe mencionar que el cuerpo humano necesita de este aceite para vivir, por eso la linaza es el único alimento donde se le encuentra de manera natural y en altas concentraciones.

Las propiedades de la linaza canadiense NORTHERN HEALTH coadyuvan en el tratamiento y prevención de las siguientes enfermedades (Bunwing, 2003):

- ❖ **Cáncer:** La linaza canadiense contiene compuestos identificables como anticancerígenos y ayuda a reducir los riesgos de mama, próstata, colon y pulmón entre otros.
- ❖ **Diabetes:** contribuye a regularizar los niveles de azúcar en la sangre ayudando a disminuir el requerimiento diario de insulina en personas diabéticas.
- ❖ **Enfermedades del corazón:** por su alto contenido de aceites omega, regula la presión arterial, ayuda a reducir el colesterol y previene además la formación de coágulos sanguíneos y posibles ataques cardíacos.
- ❖ **Enfermedades inflamatorias:** ayuda a prevenir y controlar enfermedades como gastritis, colitis, artritis, prostatitis, tenonitis.
- ❖ **Problemas sexuales:** la linaza es un afrodisíaco natural al mejorar la circulación sanguínea en las arterias, principal causa de impotencia en los hombres y frigidez en las mujeres.
- ❖ **Retención de líquidos:** ayuda a los riñones a una mejor secreción de sodio y de agua, también es ideal para prevenir el síndrome premenstrual y algunas formas de obesidad.

- ❖ Sistema digestivo: la fibra dietética de la linaza canadiense permite tener una mejor digestión. Es eficaz contra el estreñimiento, lubrica y regenera la flora intestinal y previene la formación de divertículos en el trayecto del esófago al intestino.
- ❖ Pérdida de peso: gracias al alto contenido de fibra dietética, controla la obesidad y elimina la ansiedad del apetito.
- ❖ Piel y cabello: ayuda a suavizar la piel y a nutrir el cabello. Además sirve como mascarilla facial para una limpieza profunda del cutis.
- ❖ Antiestrés: ideal para personas con un acelerado ritmo de vida o para quienes trabajan diariamente bajo presión por el estado de calma que produce su consumo.
- ❖ Vitalidad y energía: ideal para los atletas o para quienes desean reducir la grasa y tener un cuerpo esbelto y saludable.
- ❖ Otras afecciones: mejora la función visual y alivia la tensión nerviosa; ayuda a ciertos problemas de comportamiento como depresión, así como algunas alergias y adicciones (Bunwing, 2003).

La composición nutricional de linaza canadiense reportada por Northern Health, se muestra en el Cuadro V.

**Cuadro V.** Composición de linaza canadiense por cada 425g de producto.

Linaza canadiense		
Aceites Omega	191.00 g	44.94 %
Fibra dietética	123.00 g	28.94 %
Proteínas	90.00 g	21.18 %
Lignina	350.00 mg	0.823 %
Potasio	3.19 g	0.750 %
Calcio	80.00 mg	0.020 %
Magnesio	191.00 mg	0.450 %
Fósforo	800.00 mg	1.882 %
Hierro	15.00 mg	0.035 %
Cobre	2.50 g	0.589 %
Zinc	3.19 g	0.750 %
Manganeso	11.15 mg	0.026 %
Vitamina A	80.00 mg	0.188 %
Vitamina E	2550 mg	6.000 %
Vitamina B-1	1.50 mg	0.003 %
Vitamina B-2	1.27 mg	0.003 %
Vitamina B-3	18.70 mg	0.044 %
Vitamina B-6	2.00 mg	0.005 %
Vitamina B-12	1.90 mg	0.004 %

#### **3.8.4 Linaza Mexicana**

La semilla de linaza es muy efectiva para bajar el nivel de colesterol en la sangre. Esta semilla es barata cuando se compra entera. La semilla se debe moler en una licuadora, una taza a la vez. Una vez molida, se debe poner en un recipiente con una buena tapa y mantenerla en refrigeración.

La planta generalmente se cultiva para usos industriales, en las regiones semi tropicales de la República Mexicana, con las semillas se obtiene el aceite de linaza el cuál contiene sustancias albuminosas: mucílago, goma, almidón, azúcar y sales minerales especialmente oxalato y fosfato de calcio.

El cocimiento de semillas se emplea con muy buen éxito en las estomatitis, gingivitis, anginas inflamadas, gastritis, gastroenteritis y en las hemorroides inflamadas, empleándose con éxito en enfermedades intestinales. Puede usarse también en las enfermedades de la piel; en estos casos los baños son los más indicados, preparándose con escocimiento de semillas de linaza. En las quemaduras, por acción del fuego puede usarse el cocimiento de semillas de linaza aplicándose fomentos, pues con esto favorece la cicatrización (Ruano, 2001).

La composición nutrimental de linaza mexicana reportada por Nutrisa, se muestra en el Cuadro VI.

**Cuadro VI.** Composición de linaza mexicana por cada 15g de producto.

Linaza mexicana		
Proteínas	4 g	26.70 %
Grasa	4 g	26.70 %
Fibra dietética	3 g	20.00 %

### **3.9 Enriquecimiento y fortificación de alimentos**

Históricamente la fortificación y el enriquecimiento de alimentos ha servido para erradicar condiciones adversas de salud pública relacionadas con la desnutrición como el beri – beri, pelagra o deficiencias de hierro, pero en la actualidad los consumidores son

quienes piden alimentos que les aporten vitaminas y minerales, además de que les proporcionen beneficios que contribuyen a mejorar su salud (Spreer, 1975).

En el Cuadro VII. se muestran las fuentes dietéticas, recomendaciones, deficiencias y excesos de calcio, de acuerdo a la población mexicana.

**Cuadro VII.** Fuentes dietéticas, recomendaciones, deficiencias y excesos de calcio.

<b>Fuentes principales</b>	<b>Recomendación diaria<sup>a</sup></b>	<b>Deficiencias</b>	<b>Exceso</b>
Tortilla de maíz, charales, sardinas, quesos, leche, productos lácteos, berro, epazote, verdolaga.	de Infantes: 450 – 600 mg Niños y Púberes: 800 – 1000 mg Adultos: 800 mg Embarazadas y lactantes: 1200 mg	Osteomalacia Osteoporosis Alteraciones del sistema nervioso.	Estreñimiento, anorexia, náusea, dolor abdominal, calcificación de tejidos blandos, cálculos renales, hipertensión, síntomas de uremia, debilidad muscular, delirio, estupor, coma.

a. Datos de ingesta diaria recomendada para la población mexicana (INNSZ, 2001).

El calcio juega un papel importante en el ser humano, pero el cuerpo al no producir este mineral, requiere de un suplemento externo. La importancia de una adecuada ingesta de calcio recae durante todo el ciclo de la vida del humano, desde el crecimiento de un bebé, desarrollo del esqueleto de niños adolescentes, generación de la masa ósea adecuada en adultos, mujeres durante el embarazo y lactancia y personas mayores,

especialmente mujeres quienes después de la menopausia son sensibles a la osteoporosis.

La fuente básica de calcio es la dieta, pero en la actualidad con el aumento de las tendencias de uso de la comida rápida sólo se cubren una parte de los requerimientos. Es por ello que los consumidores se ven en la necesidad de tener un balance en la ingesta de calcio a través de alientos fortificados o suplementos que con tengan este mineral en cantidades suficientes (Early, 1992).

### **3.9.1 Adición de calcio en yogurt**

Diferentes sales de calcio comerciales están disponibles para la fortificación de alimentos, entre los que incluyen carbonato, fosfato, lactato, citrato y gluconato (Early, 1992). El adicionar calcio a productos fermentados como el yogurt trae consigo ciertos problemas que se tienen que tomar en cuenta, algunos de ellos son: la solubilidad de la sal, la biodisponibilidad del mineral, la interferencia que tiene el calcio con otros nutrientes y sus efectos en la consistencia y sabor (Illescas, 2001).

### **3.10 Yogurt bajo en grasa**

El producto lácteo bajo en calorías más famoso es el yogurt, el cuál representa el 60 % del total de las ventas en Estados Unidos, en el Reino Unido la leche semidescremada cubre el 70 % del total de los productos bajos en grasa, debido a la creciente demanda del consumidor de sustituir la leche entera por leche descremada.

El mercado de productos bajos en grasa a forzado a los productores de yogurt a desarrollar productos que satisfagan las necesidades de los consumidores manteniendo las características sensoriales del yogurt (Sandrou y Arvanotoyannis, 2000).

De acuerdo con estudios realizados por Mistry y Hassan (1992), los productos utilizados en la producción de yogurt sin grasa incluyen polvos con alto contenido de proteína de leche (high milk protein powder, HMPP), el cual al ser utilizado en combinación con leche descremada genera un yogurt terso y con una concentración aceptable de acetaldehído.

N-LiteD® es un sustituto de grasa que se produce a partir de maltodextrinas del maíz y es utilizado para imitar propiedades sensoriales y funcionales específicas de las grasas de la leche, es empleado principalmente en productos fermentados y los elaborados a base de leche, algunos autores que han utilizado este producto encontraron las siguientes ventajas: aumento en el sabor y aroma del yogurt, ausencia de efecto durante la fermentación y pH final aun si se utiliza en altas concentraciones, además de tener una buena estabilidad al calor y la presión (Sandrou y Arvanotoyannis, 2000).

El yogurt bajo en grasa o bajo en calorías se produce también con ésteres de sacarosa en combinación con aspartame. Farooq y Haque (1992) utilizaron ésteres de sacarosa, encontrando que imparten amplias cualidades al yogurt, como el aumento en la percepción de la sensación de grasa, textura y cuerpo firme, además de un sabor y aromas suaves, así mismo, el uso de aspartame permitió una reducción de calorías de hasta un 50 %.

### **3.11 Estudios sobre yogurt**

Han sido muchos los estudios realizados sobre yogurt, a continuación se presentan algunos de los trabajos más relacionados con el tipo de yogurt a analizar.

Harrison y Berhard, (1984) estudiaron el efecto de la dulzura provocada por algunos edulcorantes (xylitol, sacarina y galactosa) en base a las características sensoriales, realizando para ello mezclas de edulcorantes.

Laye *et al.*, (1993) analizaron las propiedades químicas, microbiológicas y sensoriales de yogurt no grasa y observaron que propiedades como pH y acidez, son de las más afectadas.

Yazici *et al.*, (1997) estudiaron la fermentación y las propiedades de la leche de soya fortificada con calcio en yogurt, en donde se observaron cambios en la microestructura y textura del yogurt.

Hirano *et al.*, (1998) estudiaron los efectos de la lactoperoxidasa en las propiedades reológicas de yogurt y observaron que las propiedades más afectadas son la viscosidad y textura, así como la acidez.

Larrauri *et al.*, (1994) obtuvieron altos porcentajes de fibra dietética, a partir de cáscaras de cítricos y cáscaras de piña, determinando sus características químicas, físicas y organolépticas de la fibra.

Ulfman (1998) determinó contenidos de grasa y sólidos no grasos en yogurt, definido como un producto de enorme valor comercial.