



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INSTRUMENTACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN  
DE YOGURT MEDIANTE EL MONITOREO DE LAS VARIABLES ANALÍTICAS (PH Y  
TEMPERATURA)**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN**

PRESENTA

**WENDOLYN GAMBOA VÁZQUEZ**

DIRIGIDA POR

**ING. MA. LUISA BALDERAS ESCAMILLA**

C.U. SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. JUNIO DE 2013.

## RESUMEN

El presente proyecto está enfocado a la estandarización e instrumentación del proceso para la elaboración de un producto lácteo fermentado con denominación yogurt. Mediante el monitoreo de las variable analítica pH y la variable de proceso temperatura; respondiendo a la necesidad de dar un uso alterno a la leche que es obtenida en el campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro y tomando en cuenta que los productos lácteos fermentados tienen una gran aceptación dentro de la población, se ejecuta un proceso de elaboración de yogurt como producto terminado con marca universitaria (MU). El objetivo principal es la Implementación del proceso, así como formular una **estandarización** en la elaboración de yogurt. Esto con el objetodedar las características físicas ideales al producto terminado, es decir, las que son percibidas con los sentidos, por ejemplo, su sabor, textura, olor, color y así obtener el beneficio de un producto óptimo y en el menor tiempo posible, además de obtener como resultado la **estandarización** en el proceso de elaboración de yogurt natural y de sabores guayaba, mango y fresa, basado en los aspectos más relevantes de la Norma NOM-243-SSA1-2010. Los resultados obtenidos son: la instrumentación del proceso, implementación del sistema de recirculamiento de agua, el monitoreo de temperatura en línea y el monitoreo de pH, durante la fermentación de la leche para obtener yogurt. El yogurt obtenido tiene un alto valor nutricional, es 100% natural y aunque no contiene ningún tipo de conservador, colorante o saborizante artificial, sus **propiedades organolépticas** se mantienen intactas en un tiempo de caducidad de 10 días, manteniéndolo alrededor de los 4°C, lo cual permite un período apto para su comercialización.

Palabras clave: Instrumentación para la Producción de yogurt; Elaboración de producto lácteo fermentado; Estandarización del proceso de elaboración de yogurt). Monitoreo de variables.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos por apoyarme en todo momento, por su amor y comprensión porque sin ellos no hubiera sido posible concluir éste proyecto.

A mi asesora Ing. Ma. Luisa Balderas Escamilla que fue un gran apoyo en todos los sentidos, no sólo en el profesional, infinitamente gracias por darme la oportunidad de trabajar con ella, por sus consejos, por su apoyo y por darme grandes lecciones de vida.

A Gabriel Gallo Pérez por haber sido parte del grandioso equipo de trabajo, que formamos María Luisa él y yo, porque a lo largo del proyecto encontré en él no sólo a un compañero si no a un verdadero amigo.

Un millón de gracias al profesor José Luis Avendaño por su apoyo en la redacción de mi trabajo, por su paciencia, por su tiempo, por sus acertados consejos y por ser un excelente guía durante la escritura de la tesis.

Gracias a todos los compañeros y amigos que fui encontrando en el camino, por darme fuerza, por sus consejos y por comprenderme aún en los momentos más difíciles.

Gracias a mis sinodales por su apoyo y opiniones.

Cabe mencionar el agradecimiento a FIFI (Fondo de Investigación de la Facultad de Ingeniería) por el apoyo económico brindado para la realización de este proyecto.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>5</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>I.I TRABAJOS PREVIOS</b>	10
<b>I.II HIPÓTESIS</b>	19
<b>I.II OBJETIVOS</b>	19
<b>I.III. JUSTIFICACIÓN</b>	19
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>21</b>
<b>II.I YOGURT</b>	21
<b>II.II ASPECTOS GENERALES DE LAS LECHE FERMENTADAS</b>	22
<b>II.III COMPOSICIÓN DE LA LECHE</b>	24
<b>II.IV COMPOSICIÓN PROMEDIO DE LA LECHE DE VACA</b>	24
<b>II.V TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA LECHE</b>	25
<b>II.VI FERMENTACIÓN</b>	26
<b>II.VII FERMENTADORES DE YOGURT</b>	28
<b>II.VIII SENSOR DE PH</b>	29
<i>II.VII.I Monitoreo de pH en el proceso de fermentación</i>	30
<b>II.IX SENSOR DE TEMPERATURA</b>	31
<i>II.IX.I Control de temperatura en el proceso de fermentación</i>	32
<b>II.X TIPOS DE VÁLVULAS PARA INDUSTRIA ALIMENTICIA</b>	33
<b>II.XI PROCESOS DE ELABORACIÓN DE YOGURT</b>	35
<i>II.XI.I Conservación del yogurt</i>	36
<b>II.XII PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS.</b>	41
<b>III. METODOLOGÍA</b>	<b>43</b>
<b>III.I ANÁLISIS DE RECEPCIÓN DE LECHE.</b>	43
<b>III.II ELABORACIÓN DE LA JALEAS DE FRUTA NATURAL</b>	45
<i>III.II.I Elaboración de jalea de Fresa:</i>	45
<b>III.II.II ELABORACIÓN DE JALEA DE MANGO ATAULFO:</b>	46
<b>III.II.III ELABORACIÓN DE JALEA DE GUAYABA:</b>	47
<b>III.II.IV ELABORACIÓN DEL YOGURT</b>	48
<b>IV. RESULTADOS</b>	<b>55</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>58</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>62</b>
<b>VII. ANEXOS</b>	<b>64</b>
<b>VIII. GLOSARIO</b>	<b>71</b>

## ÍNICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
Figura 1. Elaboración de yogurt en la planta MILKAUT11	
Figura 2. Plataforma de yogurt de 1.400 envases/hora	16
Figura 3. Planta completa de yogurt	16
Figura 4. Envasadora de yogurt de 15.000 unidades/hora	16
Figura 5. Esquema de la elaboración del yogurt [13]28	
Figura 6. Analizador de leche (Lactoscan Milkanalyser SR60)29	
Figura 7. Fresas desinfectadas para la elaboración de jalea.29	
Figura 8. Mango pelado y despulpado para la elaboración de jalea.	34
Figura 9. Cocción de jalea de guayaba	35
Figura 10. Jalea de guayaba.	44
Figura 11. Implementación del proceso de producción de yogurt en el Laboratorio de Lácteos en el Campus Amazcala	45
Figura 12. Salida del producto terminado	46
Figura 13. Producción de yogurt natural	47
Figura 14. Equipo para la elaboración de yogurt interior de la caja donde se encuentra el pirómetro para el control de temperatura.	47
Figura 15. Vista	54
Figura 16. Salida del yogurt	56
Figura 17. Producción de yogurt natural	56
Figura 18. Equipo para la elaboración de yogurt pirómetro para el control de temperatura	57
Figura 19. Equipo para la elaboración de yogurt	57
Figura 20. Diagrama general de instalación para el proceso de elaboración de yogurt	60

## INDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
Tabla 1. Características de la fermentación del yogurt.	7
Tabla 2. Valor comparativo del yogurt en 150 gramos	8
Tabla 3 Estado inicial de la leche	43
Tabla 4. Datos de la leche pasteurizada una vez agregada leche en polvo, azúcar e inóculo.	50
Tabla 5. Registro de datos del proceso de fermentación	51
Tabla 6. Especificaciones microbiológicas para los productos lácteos fermentados y acidificados	69
Tabla 7. Aditivos para productos lácteos acidificados	69

## I. INTRODUCCIÓN

La historia del yogurt se remonta hace miles de años, el primer ejemplo de leche acidificada fue presumiblemente producido en forma accidental por los nómadas. La leche se volvía ácida y coagulaba bajo la influencia de ciertos microorganismos, posteriormente se fue descubriendo que ésta leche fermentada tenía cualidades curativas para desordenes estomacales, problemas de piel, así como para conservar cierto tipo de alimentos. El consumo de yogurt se fue incrementando cada vez más, principalmente en Europa oriental y después en el resto del mundo. A fines del siglo XIX, con el advenimiento de la industria lechera en los países occidentales, se inició el interés por los productos lácteos fermentados. Se dio gran importancia a la calidad de los fermentos y a las condiciones higiénicas de su producción, para controlar totalmente la elaboración y obtener finalmente un producto de calidad uniforme (De Sanzo, 2010)

El procedimiento de elaboración de yogurt es realizado desde la manera artesanal, hasta procesos automatizados y varía en el proceso dependiendo del tipo que se desee obtener. Uno de los aspectos más importantes a considerar es el monitoreo de variable analítica pH y la variable de proceso temperatura, por tal motivo, se deben estandarizar los valores de las variables involucradas en el proceso de producción, para obtener una correcta homogeneización entre la acidez del yogurt y la fruta, pulpa o saborizante que se desee adicionar.

A pesar del constante cambio en la tecnología del procesamiento del yogurt, el fundamento del método de elaboración ha cambiado poco a lo largo de los años. Se han introducido algunas mejoras, especialmente en relación con las bacterias ácido lácticas responsables de la fermentación, pero los pasos básicos del proceso continúan siendo los mismos.

El yogurt se define como el producto de leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción de *Lactobacillus subsp. Bulgaricus* y *Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus* a partir de la leche y productos lácteos.

Las principales características de esta fermentación se detallan en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Características de la fermentación del yogurt [(Mastellone, 2005)].

<b>Agentes de la Fermentación</b>	
Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus	
Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus	
<b>Productos de la Fermentación</b>	
Principal:	Ácido láctico
Secundario:	Acetaldehído, acetona, diacetilo, glucanos
<b>Objetivos de la Fermentación</b>	
Principal:	Formación de un gel por descenso del pH
Secundarios:	Sabor ácido, consistencia, formación de componentes del aroma

La instrumentación ocupada para la producción de yogurt puede variar desde materiales y utensilios comunes hasta equipos que constan de varias etapas totalmente automatizadas como el bombeo automático de la leche, tanques de mezcla donde se produce el agregado de ingredientes, control de temperatura, secuencias programadas de agitación para la ruptura del coagulo y adición de frutas en forma automática.

El *Lactobacillusbulgaricus* y el *Streptococcusthermophilus*, que permanecen vivos tras la fermentación, se comportan como un equipo natural muy bien conjuntado: mientras el *Lactobacillusbulgaricus* es el principal responsable de la acidez del yogurt, el otro componente de la pareja le proporciona su aroma y textura inconfundibles. Estos fermentos se mantienen vivos por el frío, por lo que su conservación debe ser siempre a baja temperatura (alrededor de los 4°C). En estas condiciones pueden durar hasta dos semanas sin alteraciones significativas. La comercialización se realiza con el producto envasado y manteniendo siempre la temperatura de refrigeración. La calidad del yogurt depende del estado de la materia prima, de las técnicas de elaboración empleadas, de la instrumentación utilizada y de la higiene del personal que labora durante el proceso (Saldaña, 2001).

Existen diferentes clases de yogurt y depende de las necesidades y gustos del consumidor qué tipo elegir, la propuesta en éste proyecto es realizar un producto con alto valor nutricional, natural y sin conservadores. A continuación, se muestra el comparativo entre los yogures enteros, bajos en grasa y bajo en grasa con fruta.

Tabla 2. Valor comparativo del yogurt en 150 gramos [Rivera y Matheus, 2008].

<b>NUTRIMENTO</b>	<b>Yogurt Entero</b>	<b>Yogurt bajo en grasa</b>	<b>Yogurt bajo en grasa con fruta</b>
Calorías	163	85	141
Carbohidratos	23.6 g	11 g	26.9 g
Proteínas	7.7 g	7.7 g	6 g
Grasas	4.2 g	1.2 g	1.1 g
Saturadas	2.3 g	0.8 g	0.6 g
Calcio	240 mg	215 mg	225 mg

La organización de este trabajo se compone de la siguiente forma: la sección trabajos previos de éste capítulo se tratan los procesos de producción automatizada de yogurt, así como las variables involucradas en el proceso, tanto a mediana como a gran escala, lo cual lleva a la justificación y objetivo del proyecto. En el capítulo II se muestra la fundamentación teórica para la realización del proyecto,

en el capítulo III la implementación y desarrollo de la investigación, el proceso de elaboración de yogurt y jaleas, las consideraciones para la recepción de leche, así como la estandarización y descripción del equipo utilizado. En el capítulo IV se exponen pruebas de elaboración de yogurt. Posteriormente, en el capítulo V se hace una reseña de los resultados obtenidos, en el capítulo VI se muestran las conclusiones del trabajo. En el apartado VII se dan a conocer las referencias bibliográficas que se usaron para la investigación previa. Para finalizar, en el apartado VIII se anexan los principales puntos de la NOM-243-SSA1-2010 y los manuales de operación de la instrumentación implementada.

## I.I Trabajos previos

En la actualidad existen grandes empresas productoras de yogurt en las cuales se producen millones de litros al año, pocas empresas publican como se encuentra instrumentado su proceso. A continuación, se muestra la elaboración de yogurt en la empresa MILKAUT, la cual labora en Argentina y a partir del 2006 tiene el siguiente procedimiento instrumentado y controlado.

Los números que están entre paréntesis muestran la etapa del proceso en donde se encuentran; se inicia bombeando automáticamente leche fluida (1) a los tanques de mezcla (2), donde se produce el agregado de ingredientes secos, como por ejemplo leche en polvo. Luego, la mezcla es pasteurizada a alta temperatura (3), homogeneizada (4) y mantenida durante un cierto tiempo a esa temperatura en el tubo de retardo (5).

A continuación, la masa es enfriada hasta alcanzar la temperatura de siembra del fermento, operación que se realiza en forma automática y en línea, comienza así el proceso de fermentación que se realiza en tanques de 12.000 lts. de capacidad sometidos a una sobrepresión de aire estéril (6).

Una vez que la masa ha alcanzado su punto adecuado de corte, se inicia una secuencia programada de agitación para la rotura del coágulo y alisado de la masa. La operación siguiente es el filtrado y enfriado del yogurt mediante un equipamiento de gran capacidad para lograr la tarea en breve tiempo (7).

Por último, la masa de yogurt es coloreada y aromatizada en línea, mediante un complejo sincronismo de bombas dosificadoras (8). En el caso de frutados, la adición de frutas se realiza en forma automática directamente en la envasadora.

Máquinas de envasado automáticas fraccionan el producto terminado para las distintas presentaciones de potes, sachets (bolsitas), cajas o botellas (9), los que serán colocados inmediatamente en cámaras frigoríficas para mantener su temperatura por debajo de los 8°C (MILKAUT, 2006)



## Yogur

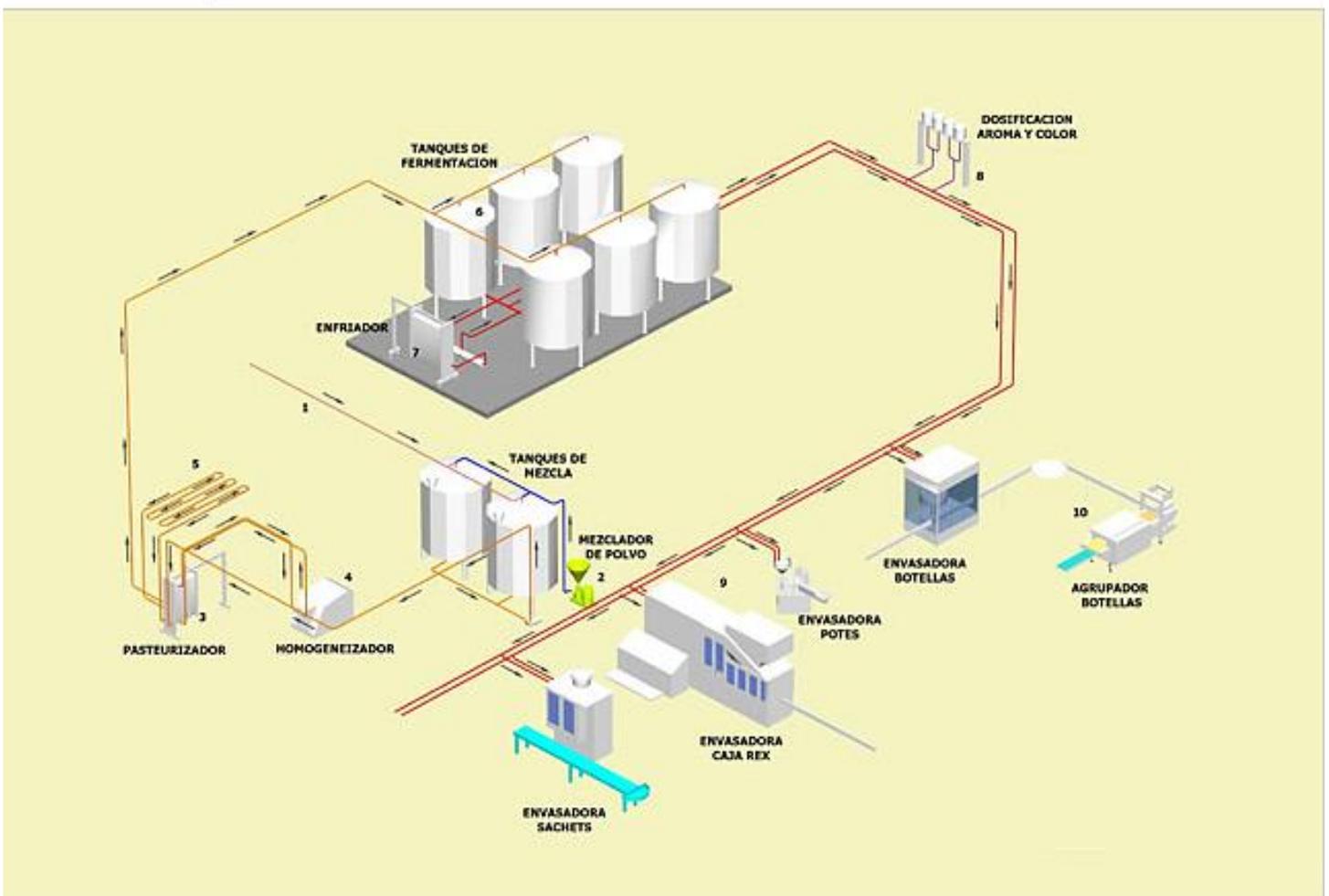


Figura 1. Elaboración de yogur en la planta MILKAUT[MILKAUT, 2006].

Como se observa en la Figura 1, una planta de yogurt es compleja, consta de varias etapas y es necesaria una inversión grande, el más significativo sin duda, debido a que es un producto de grado alimenticio y la instrumentación utilizada debido a las normas alimentarias debe ser acero inoxidable 316, ya que es más resistente a la corrosión bajo tensión, ello es importante puesto que se da la posibilidad de este tipo de corrosión, debido a las temperaturas elevadas que pueden alcanzarse y a la presencia de ácido láctico o de productos desinfectantes.

El control del pH es otro aspecto relevante en la elaboración de los productos alimentarios, tanto como indicador de las condiciones higiénicas como para el control de los procesos de transformación. El pH, como la temperatura y la humedad, son importantes para la conservación de los alimentos. De ahí que generalmente, disminuyendo el valor de pH de un producto, aumente el período de conservación.

El pH de la leche debe ser controlado desde el momento de la recolección hasta la entrega del producto, ya que es un indicador válido de sus condiciones higiénicas. El valor normal está alrededor de 6.8. Valores inferiores a pH 6.8 pueden indicar una infección en el animal, que puede ser grave si el pH es inferior a 4.4 **[SPREER, 2009]**.

Otro aspecto importante es la estandarización o normalización del contenido en grasa de la leche. El contenido de grasa de los diferentes 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 registra niveles mínimos de grasa, siendo este determinado por el discernimiento del productor.

**[Damodaran, Parkin ,2010]**. 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.

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) Utilización de una combinación de los métodos a) y c) es decir, utilización de centrifugas para la estandarización.

La concentración óptima de sólidos no grasos de la leche es de 10 a 15%. Para lograr esta concentración se adiciona leche en polvo descremada en niveles de 1 a 5%, así se reduce el tiempo requerido para la coagulación y a la vez se obtiene mejor consistencia.

Al aumentar el contenido de sólidos totales, particularmente la cantidad de proteínas en el yogurt, generalmente incrementa la densidad de la red proteica y disminuye el tamaño de los poros. En consecuencia, el agua se liga más firmemente al producto.

También puede estandarizarse el 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 agradables, también se ha comprobado que un aumento en el extracto magro de la leche disminuye considerablemente el tiempo de obtención del coágulo. La correlación entre extracto seco de la leche y la consistencia del yogurt ha sido estudiada por Tamine quien comprobó 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 entre los que se incluye:

- 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 [Jeantet&Croguennec, 2010].

El procedimiento para la estandarización y preparación de la mezcla de leche es el siguiente: se regula el contenido de grasas y sólidos no grasos, se agrega azúcar de acuerdo al tipo de producto a elaborar, y se regula el contenido de extracto seco mediante el agregado de leche en polvo, concentración por las técnicas de filtración a través de membranas o sustracción de agua por evaporación.

En general, la leche usada en la elaboración de productos fermentados debe ser estandarizada con respecto al contenido de materia grasa y sólidos no grasos, para uniformar el producto final. Para estandarizar la materia grasa se pueden presentar dos alternativas; descremar a fin de disminuir el contenido de materia grasa o agregar crema a la leche descremada hasta el porcentaje de materia grasa deseada.

Existen varios métodos de estandarización, por esta razón cada productor de yogurt es responsable de cómo desee realizar el procedimiento, para fines prácticos, en este proyecto, se decide utilizar leche entera en polvo.

Existen empresas dedicadas a la implementación de toda una solución en instrumentación para la fabricación de yogurt, una de las más importantes, es la empresa española TECNOLACTEA.

A continuación se describen algunas de las tecnologías utilizadas en la industria láctea.

La instrumentación básica que se presenta en las industrias del yogurt es la siguiente:

Para la fabricación:

1. Depósitos de recepción de leche
2. Mezcladores de sólidos
3. Pasteurizadores
4. Equipos de pasteurización lenta
5. Homogeneizadores
6. Desnatadoras
7. Bombas de inyección de aromas
8. Cámaras de fermentación
9. Túneles de enfriamiento
10. Túneles de lavado esterilizado y secado para tarros de envasado

Para el proceso de envasado:

1. Envasadoras en vasos de plástico
2. Envasadoras en cristal twist-off
3. Líneas completas, con túnel de lavado, envasado y cerrado, secado y etiquetado de tarros de cristal para yogurt
4. Líneas completas con túnel de envasado y cerrado
5. Líneas completas con túnel de secado y etiquetado de tarros de cristal para yogurt **[TECNOLACTEA,2012]**.



Figura 2. Plataforma de yogurt de 1.400 envases/hora.



Figura 3. Planta completa de yogurt

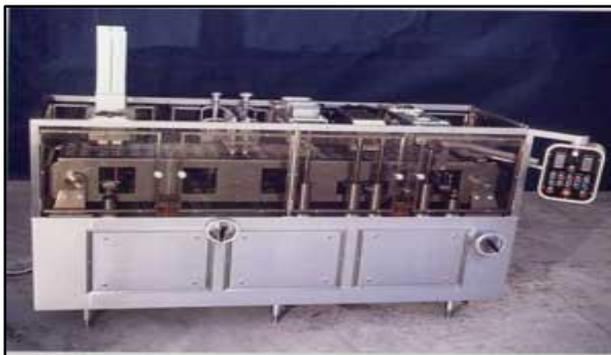


Figura 4. Envasadora de yogurt de 15.000 unidades/hora

Todas estas implementaciones se refieren tanto al proceso de fermentación como al de envasado del producto terminado.

Por otro lado, la norma Mexicana PROY-NOM-181-SCFI-2010 Clasificación y Denominación Comercial, define al Yogur, yogurt, yoghurt, yoghurth o yogurth como el producto obtenido de la fermentación de leche, estandarizada o no, por medio de la acción de microorganismos *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subespecie bulgaricus*, y teniendo como resultado la reducción del pH [(PROY-NOM-181-SCFI-2010, 2010)].

Para obtener yogures batido y líquido, la leche enriquecida e inoculada se incuba en grandes fermentadores. Estas dos clases de yogurt se diferencian sólo en el grado de rotura del gel láctico formado durante la incubación.

El batido se bombea a un intercambiador de calor para enfriarlo, mientras que el líquido se somete a un proceso más intenso (puede homogeneizarse) antes de su enfriamiento. Tras el enfriamiento pueden añadirse el resto de ingredientes (fruta, cacao, vainilla, colorantes, etc.). Finalmente, se procede al envasado, almacenamiento en refrigeración y distribución.

Se estima que a más de 10°C, la vida útil del producto se calcula en unos pocos días ya que el mismo, alcanza un grado de acidez excesivo porque *Lb. delbrueckii subsp bulgaricus* puede continuar metabolizando la lactosa y alcanzarse hasta un 2,5% de ácido láctico.

La fabricación de un yogurt de buena calidad implica cuidados previos. En las centrales lecheras se analiza rutinariamente la leche en el momento de su recepción para asegurarse que cumple los requisitos indispensables para poder procesarla y fabricar yogurt. Se determina su composición, se hacen recuentos microbiológicos y de células somáticas, se analizan posibles residuos de antibióticos y se mide la temperatura de recepción de la leche.

La presencia de antibióticos puede ser lesiva para los microorganismos iniciadores. Si existen muchas **proteasas** procedentes de **psicrótrofos**, el gel que

pretende conseguirse durante la fabricación del yogurt no va a tener la textura más deseable; se pierde firmeza, viscosidad y capacidad de retención de agua.

Para evitar la presencia masiva de **psicrótrofos** se recomienda una **termización** precoz de la leche (en los estudios publicados se observa que las condiciones de termización en la gama situada entre 62 y 65°C son las más utilizadas comúnmente y se han demostrado eficaces.) **(CODEX,2010)**, antes de almacenarla en refrigeración. Con este tratamiento térmico suave se destruye la mayor parte de los psicrótrofos presentes.

## **I.II Hipótesis**

Mediante el monitoreo tanto de pH como de temperatura y estandarización del proceso de elaboración de yogurt se puede obtener un producto natural o de sabores con propiedades **organolépticas**, es decir, las que son percibidas con los sentidos, por ejemplo su sabor, textura, olor, color, acidez (pH) y así obtener el beneficio de un producto óptimo y en el menor tiempo posible.

## **I.II Objetivos**

Implementar el proceso de elaboración de yogurt como producto terminado mediante el monitoreo del pH y de la temperatura, así como realizar una estandarización del mismo para que forme parte del laboratorio de productos lácteos en la unidad experimental Amazcala.

Mediante la elaboración de yogurt, se pretende dar un uso alternativo a la leche que es obtenida en la unidad experimental Amazcala.

## **I.III. Justificación**

Amazcala es una unidad experimental que pertenece a la Universidad Autónoma de Querétaro, en donde principalmente se trabaja en invernaderos para la producción de hortalizas. En el año 2008, se comienza a trabajar con ganado vacuno, teniendo gran éxito. Al paso del tiempo, gracias a un proyecto de investigación para la alimentación controlada de las vacas, se obtienen grandes cantidades de leche de calidad, la cual es pasteurizada y se comienza a utilizar en la producción de quesos, postres y rompopo, comercializándose a pequeña escala dentro del campus.

La dificultad presentada radica en que la obtención de leche es mayor al uso que se le puede dar, por tal motivo, se busca una nueva opción para utilizarla como un producto lácteo fermentado muy común y con un proceso ya conocido que es la

elaboración de yogurt, así que, el estudio aplicado al presente proyecto busca estandarizar e instrumentar el proceso de producción. Además, deapoyar y dar auge a los productos generados con Marca Universitaria (MU).

Por otro lado, se puede generar un espacio en donde los alumnos de la facultad de ingeniería puedan realizar prácticas con la elaboración de un proceso integral en tiempo real y con el monitoreo de variables como el pH y la temperatura en un producto terminado.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### II.I Yogurt

Químicamente, es un sistema de gel complejo incorporando proteínas, polisacáridos, y los lípidos en su estructura. Se produce a partir de leche por fermentación, uno de los métodos más antiguos practicados por los seres humanos para la transformación de la leche en productos con una vida útil más larga.

Es rico en vitaminas y minerales y proporciona una excelente fuente de calcio y proteína. Además de los obvios beneficios nutricionales, el consumo de yogurt también muestra beneficios prometedores para la salud para ciertas afecciones gastrointestinales, tales como intolerancia a la lactosa, el estreñimiento, y las enfermedades diarreicas.

El yogurt es el producto de leche fermentada con bacterias lácticas homofermentativas como *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. El papel de estos dos géneros en la fabricación de este producto se puede resumir como la acidificación de la leche y la síntesis de compuestos aromáticos. El yogurt debe su aroma a un equilibrio delicado entre volátiles ya presentes en la leche y los metabolitos secundarios sintetizados por las bacterias. En la fermentación estas bacterias convierten la lactosa en ácido láctico y pequeñas cantidades de acetaldehído, 2,3-butanodiona, y el 2,3 pentanodiona-, que conforman los compuestos impacto del aroma del producto.

El *S. thermophilus* y *L. bulgaricus* presentan una relación simbiótica durante el procesamiento de esta bebida fermentada, lo que significa que *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* estimula el crecimiento del estreptococo por la liberación de aminoácidos como productos de su actividad proteolítica y los lactobacilos son estimulados por la producción de dióxido de carbono, ácido láctico y el ácido fórmico producido por *S. thermophilus*. Los estreptococos se inhiben a valores de pH de 4.2 a 4.4, mientras que los lactobacilos toleran valores de pH en el rango de 3,5 a 3,8. Después de

aproximadamente 3 horas de fermentación, el número de los dos organismos debe ser igual, con más tiempo de fermentación, la tasa de crecimiento de *S.thermophilus* disminuye, mientras que *L. bulgaricus* continúa reduciendo el pH mediante la producción de cantidades excesivas de ácido láctico.

Sin embargo, este crecimiento asociativo puede ser inhibido por factores diferentes, tales como el alto conteo de células somáticas en la leche, la presencia de peróxido de hidrógeno, antibióticos, detergente, desinfectante o presencia de bacteriófagos. Por otra parte, los cultivos iniciadores pueden ser estimulados por algunos de los pasos de proceso durante la fabricación de yogurt, tales como el tratamiento térmico o fortificación de la leche con proteínas.

La temperatura de incubación de 42°C es óptima para el crecimiento asociado de las bacterias; la temperatura óptima de crecimiento del *Streptococcus thermophilus* es 37°C y para *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* es de 45°C. Una incubación a temperaturas superiores a 42°C promoverá el crecimiento del *Lactobacillus*, mientras que una temperatura de incubación de menos de 42°C favorece el crecimiento del *Streptococcus*, y la falta de sabor será el resultado del escaso crecimiento de *Lactobacillus*.

## **II.II Aspectos generales de las leches fermentadas**

Entre los cambios que se producen en la leche está el descenso del pH. La fermentación es una forma simple, barata y segura de conservar la leche. En las zonas en las que se dispone de modernos equipos de ordeño y de recogida de leche, y en donde, generalmente, se tiene un gran conocimiento y una dilatada experiencia en las técnicas de conservación de la leche cruda, y que además cuentan con buenos sistemas de transporte y distribución, no se plantea la necesidad de utilizar la fermentación como un método de conservación.

Por el contrario, en las áreas o países que no tienen todos estos medios, la fermentación de la leche como medio de conservación todavía mantiene la importancia que tuvo originalmente. Las bacterias lácticas modifican las características de la leche, de forma que la mayoría de los microorganismos indeseables, incluidos los patógenos, no pueden crecer en ella, o incluso mueren.

Entre los cambios que se producen en la leche está el descenso del Ph (hasta 4,6- 4), factor que contribuye al mantenimiento de un bajo pH en el estómago después de consumir la leche; la inhibición del desarrollo microbiano por los ácidos no disociados (por ej., ácido láctico), y por otros metabolitos como el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y otras sustancias con actividad antibiótica ; un potencial de óxido-reducción bajo; y el consumo por parte de las bacterias lácticas de componentes que son vitales para otros microorganismos. La correcta pasteurización de la leche cruda destruye cualquier patógeno que pudiera sobrevivir a la fermentación.

Existen muchas leches fermentadas distintas, pero en lo que respecta a la tecnología de su fabricación, todas son similares. Las leches fermentadas se pueden clasificar de varias formas, pero generalmente se acepta su clasificación en función del tipo de microorganismo utilizado en su elaboración.

Hasta hace poco tiempo, la producción de estas leches estaba concentrada en determinadas regiones. El gran aumento de popularidad de las leches fermentadas, especialmente del yogurt, se debió en un principio al interés que despertaron sus supuestas propiedades de prolongar la vida, pero este mercado no se sostuvo durante mucho tiempo. Sin embargo, el desarrollo en los años 50 de los yogures con frutas y aromatizados, hicieron que este producto cobrara importancia en la industria láctea de Europa occidental, E.E.U.U. y otros mercados considerados como no tradicionales. Desde entonces, los tipos de yogures y de alimentos basados en el yogurt, han seguido aumentando y hay un creciente interés por los yogures y otras leches fermentadas como productos beneficiosos para la salud.

### **II.III Composición de la leche**

La leche está constituida por proteínas, grasas, hidratos de carbono, sales minerales, enzimas, pigmentos, ácidos orgánicos, gases y agua. El agua es el componente más abundante y en ella se encuentra el resto de constituyentes, formando disoluciones, dispersiones y emulsiones.

La grasa de la leche se encuentra mayormente en estado coloidal, distribuida en forma de glóbulos minúsculos que tienden a unirse unos a otros, creciendo en tamaño hasta formar una capa que sube a la superficie del líquido, debido a su menor densidad.

Las proteínas de la leche se encuentran mayormente en estado coloidal; el aspecto blanquecino y opaco de la leche, se debe a complejos de proteína y sales de calcio, dispersos en el medio líquido.

### **II.IV Composición promedio de la leche de vaca**

La composición de la leche de vaca varía dentro de ciertos límites, de acuerdo a distintos factores; en promedio se considera la siguiente composición:

Proteínas 3.3%, Grasa 3.8%, Lactosa 4.7%, Sales minerales 0.7%, Agua 87.5%.

La fracción proteica de la leche, esta constituida principalmente por 2.6% de **caseina** y 0.7% de **albúmina** y **globulina**.

Los sólidos no grasos de leche totalizan en promedio 8.5% están constituidos por proteínas, lactosa, sales minerales, vitaminas, pigmentos.

Desde el punto de vista comercial, es importante el contenido de grasa, de sólidos no grasos y el total de sólidos, ya que estos determinan el rendimiento de los derivados lácteos, como el yogurt.

Valor nutritivo de la leche.

La leche contiene elementos nutritivos energéticos y plásticos, además de vitaminas y minerales, necesarios para los procesos bioquímicos del organismo.

## **II.V Tratamiento térmico de la leche**

La leche debe ser sometida a tratamientos térmicos que aseguren la eliminación de microorganismos patógenos presentes en ella.

### **Pasteurización**

La pasteurización consiste en calentar la leche por debajo del punto de ebullición, pero a una temperatura suficientemente alta para destruir los microorganismos patógenos y reducir la carga total microbiana, permitiendo de esta manera, su transporte, distribución y consumo, sin ningún riesgo.

### **Pasteurización HTST (Alta temperatura- tiempo breve)**

Se utilizan intercambiadores de calor que permiten procesar volúmenes grandes de leche en tiempos relativamente cortos, por ejemplo, 10,000 litros de leche en una hora. Este tipo de pasteurización permite conservar, mejor las propiedades y principios nutritivos de la leche.

Pasteurización discontinua.- se puede realizar en tanques u ollas de distintas capacidades; se calienta la leche y se agita constantemente para conseguir una transferencia de calor homogénea; el calentamiento se detiene cuando se ha llegado a 65 °C y se mantiene a esta temperatura durante 30 minutos, enfriándola después mediante baño de agua fría.

### **Esterilización UHT**

La leche se esteriliza por tratamiento a temperatura ultra altas en forma directa o indirecta. Se calienta la leche hasta 135-150 °C, durante 1 segundo por lo menos; la leche en este caso, debe ser previamente homogenizada. El procedimiento UHT se basa en que la aplicación de temperaturas más altas durante un tiempo mas corto,

elimina todas las bacterias patógenas y permite mantener mejor las características de los constituyentes de la leche. La leche esterilizada por este proceso se expende en envases de cartón TetraPak, los cuales están recubiertos de plástico y forrados con una lámina de aluminio que asegura la hermeticidad del envase.

## II.VI Fermentación

El yogurt se elabora con un cultivo mixto de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* en proporción 1:1. El coccus crece con mayor rapidez que el bacilo y es responsable de la producción de ácido, mientras que el bacilo aumenta el sabor y el aroma característicos. Durante la incubación ambas especies crecen en asociación: ha sido establecido que numerosos aminoácidos liberados de la caseína por proteasas del *Lactobacillus* estimulan el crecimiento del *Streptococcus*, que a su vez, produce dióxido de carbono y ácido fórmico que estimulan al *Lactobacillus*. Durante la primera parte del proceso el *Streptococcus* crece más rápido y remueve el exceso de oxígeno, luego su crecimiento se reduce por la producción de ácido láctico. Por lo tanto, el crecimiento de ambos microorganismos en asociación da como resultado la producción de ácido láctico y acetaldehído a una velocidad mayor y en mayor cantidad que la correspondiente a cada uno de ellos cuando crecen por separado.

La leche fresca, dejada por unas horas al medio ambiente, se acidifica por acción de las bacterias que naturalmente contaminan la leche; esta es una fermentación espontánea, que da lugar a la "leche cortada".

La fermentación controlada de la leche, se realiza utilizando **cepas** o cultivos puros de bacterias lácticas especiales, que se adicionan o inoculan a la leche y se mantienen bajo condiciones controladas de tiempo y temperatura. Mediante este procedimiento se elaboran diversos tipos de leches fermentadas, que son característicos de distintas regiones o países. Los más conocidos son:

El Yogurt, que es la forma tradicional de leche ácida, originaria de Bulgaria y cuyo consumo se ha extendido a nivel mundial.

El Kefir.- Es un tipo de leche ácida y alcohólica, originaria de Rusia; como fermento láctico se utilizan los gránulos de kefir, constituido por una mezcla de microorganismos, entre los que se encuentran: el *Streptococcus lactis*, *Streptococcus cremoris*, *Leuconostoc dextranicum*, *Bacillus kefir* y varias levaduras. Además de ácido láctico, se produce de 0.5 a 1% de alcohol y dióxido de carbono.

El Kumiss.- Es producido a partir de leche de yegua, es originario del Cáucaso y las estepas al sur de Rusia. Se utiliza la misma del kefir; el nivel de alcohol producido puede llegar hasta 3%.

- El dahi.- Es un tipo de leche fermentada, originaria de la India; el cultivo utilizado, contiene hasta cuatro especies de bacterias, entre las que se encuentran las productoras de ácido láctico y las que fermentan citratos y que dan un sabor característico al producto.

## II.VII Fermentadores de Yogurt

Existen varios tipos de fermentadores de yogurt, dependiendo de la capacidad y forma que tengan se adecúa la instrumentación necesaria, a continuación se muestran diferentes clases de fermentadores, para efectos del presente proyecto se usa un fermentador donado a la universidad, al cual se instalaron los arreglos necesarios para su correcto funcionamiento.



Figura 5. Fermentador usado en industrias farmacéuticas, alimenticias, bio-tecnológicas, piloto o de laboratorio.

Figura 6. Fermentador enchaquetado



Figura 7. Fermentador Instrumentado



## II.VIII Sensor de pH

El pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución.

La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones. En consecuencia se conoce muy bien la sensibilidad y la selectividad de las membranas de vidrio delante el pH.

Una celda para la medida de pH consiste en un par de electrodos, uno de calomel (mercurio, cloruro de mercurio) y otro de vidrio, sumergidos en la disolución de la que queremos medir el pH.

La varita de soporte del electrodo es de vidrio común y no es conductor, mientras que el bulbo sensible, que es el extremo sensible del electrodo, está formado por un vidrio polarizable (vidrio sensible de pH).

Se llena el bulbo con la solución de ácido clorhídrico 0.1M saturado con cloruro de plata. El voltaje en el interior del bulbo es constante, porque se mantiene su pH constante (pH 7) de manera que la diferencia de potencial solo depende del pH del medio externo. El alambre que se sumerge al interior (normalmente Ag/AgCl) permite conducir este potencial hasta un amplificador.

#### *II.VII.1 Monitoreo de pH en el proceso de fermentación*

El control del pH es muy importante en la elaboración de los productos alimentarios, tanto como indicador de las condiciones higiénicas como para el control de los procesos de transformación. El pH, como la temperatura y la humedad, son importantes para la conservación de los alimentos. De ahí que generalmente, disminuyendo el valor de pH de un producto, aumente el período de conservación. Por ejemplo, el tratamiento de alimentos en una atmósfera modificada con pH inferior a 4,6 puede inhibir la multiplicación de agentes patógenos.

El pH de la leche debe ser controlado desde el momento de la recolección hasta la entrega del producto, ya que es un indicador válido de sus condiciones higiénicas. El valor normal está en torno a 6.8. Valores inferiores a pH 6.8 pueden indicar una infección en el animal, que puede ser grave si el pH es inferior a 4.4.

El control del pH puede determinar la presencia de una contaminación de amoníaco debida a pérdidas en las instalaciones de refrigeración.

En la preparación del yogurt, la refrigeración que sigue a la incubación de los fermentos, puede comenzar sólo cuando el valor del pH ha alcanzado valores de

alrededor 4.4-4.6. La fruta agregada al yogur debe tener el mismo valor de pH para evitar reacciones no deseadas. Un producto final óptimo debería tener un pH de alrededor de 4.0-4.4 para que pueda ser conservado por más tiempo.

## **II.IX Sensor de Temperatura**

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares.

El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico.

Termistor. El termistor está basado en que el comportamiento de la resistencia de los semiconductores es variable en función de la temperatura. Existen los termistores tipo NTC y los termistores tipo PTC. En los primeros, al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia. En los PTC, al aumentar la temperatura, aumenta la resistencia. El principal problema de los termistores es que no son lineales según la temperatura por lo que es necesario aplicar fórmulas complejas para determinar la temperatura según la corriente que circula y son complicados de calibrar.

RTD (resistance temperature detector). Un RTD es un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno. De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura.

Termopar.

El termopar, también llamado thermocouple, recibe este nombre por estar formado por dos metales, es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico. Un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica. El termopar genera una tensión que está en función de la temperatura que se está aplicando al sensor. Midiendo con un voltímetro la tensión generada, se conoce la temperatura. Los termopares tienen un amplio rango de medida, son económicos y están muy extendidos en la industria. El principal inconveniente estriba en su precisión, que es pequeña en comparación con sensores de temperatura RTD o termistores.

### *II.IX.1 Control de temperatura en el proceso de fermentación*

Para el optimizado de la fermentación de la leche se ha de considerar las variables temperatura y cantidad de microorganismos (*Lactobacillus Bulgaricus* y *Streptococcus Thermophilus*). La temperatura debe mantenerse constante durante el proceso de fermentado, así como la cantidad de microorganismos es de considerar porque esta, hace variar la proliferación de estos microorganismos y genera más rápido el ácido láctico, ya que las bacterias introducidas en la leche se alimentan de la Lactosa presente y expulsan el ácido láctico como desechos. El pH adecuado para el yogurt es de 4.5 ya que, un pH más bajo mataría a los microorganismos que deben estar activos, y haría que se generen otros tipos, es por esto que cuando la leche fermentada llega a un pH 4.5 se debe enfriar rápidamente para detener el proceso de los microorganismos.

## **II.X Tipos de válvulas para industria alimenticia**

Las válvulas de bola o esfera, por sus características principales, son un tipo de válvula muy versátil en el manejo de fluidos lo que le permite ser una de las válvulas más populares dentro de la industria alimenticia. Precisamente su cierre rápido de  $\frac{1}{4}$  de vuelta ordinariamente con una palanca permite que su operación sea muy sencilla para quien la opera además de que su diseño es más pequeño que las válvulas de compuerta. Las válvulas de bola deben de ser utilizadas para dejar o no pasar un fluido (ON-OFF), de otra forma si se deja parcialmente abierta el fluido y la presión del mismo desgastará partes de la válvula que con el tiempo según sus condiciones de operación (fluido-presión-temperatura) averiaran los interiores de la válvula dando lugar a fugas indeseables.

Las válvulas de bola, esfera o de cierre rápido, como son conocidas, dejan pasar el flujo de manera completa o tienen paso estándar que significa que si la válvula es de 2", el flujo que pasara a través de ella será menor. Entre las desventajas que existen con estas válvulas es la caída de presión que producen con este paso estándar o reducido además de que su cierre rápido genera "golpes de ariete" dentro de las líneas por lo cual hay que tomar las precauciones debidas antes de su instalación.

Las válvulas de bola se fabrican en extremos roscados, bridados, soldables a tope (butt Weld) y soldables a caja (socket Weld). Una de sus principales ventajas es que algunas de ellas pueden ser reparables en línea y refaccionables ahorrando costos de mantenimiento. Se fabrican en 1, 2 o 3 piezas según la clase de operación y ahorro de costos que se requiera tener. Los principales materiales en que se fabrican de línea las válvulas de bola son: cuerpo de acero al carbón, acero inoxidable, bronce; bola o esfera de acero al carbón, acero inoxidable; asientos de teflón. Existen otros materiales de fabricación de los cuerpos, las esferas y los asientos y su uso depende de las condiciones de operación que tendrá la válvula

(fluido-presión-temperatura) para determinar que materiales son los adecuados para que la válvula de bola no falle en su operación.

También son fabricadas en termoplásticos como el PVC y CPVC que permiten manejo de agua a más bajo costo o de corrosivos que tienen la posibilidad de desgastar rápidamente el metal como el acero. Las válvulas de bola pueden ser operadas con actuadores eléctricos y neumáticos y en general son una buena opción en muchas aplicaciones desde manejo de agua, hasta de fluidos industriales más agresivos o en la industria alimenticia.



Figura 8. Válvula tipo bola

## II.XI Procesos de elaboración de yogurt

En la Figura 5 se presenta un esquema base de elaboración de yogurt batido y yogurt líquido como una solución práctica para una producción a mediana escala. La producción se compone de las siguientes fases.

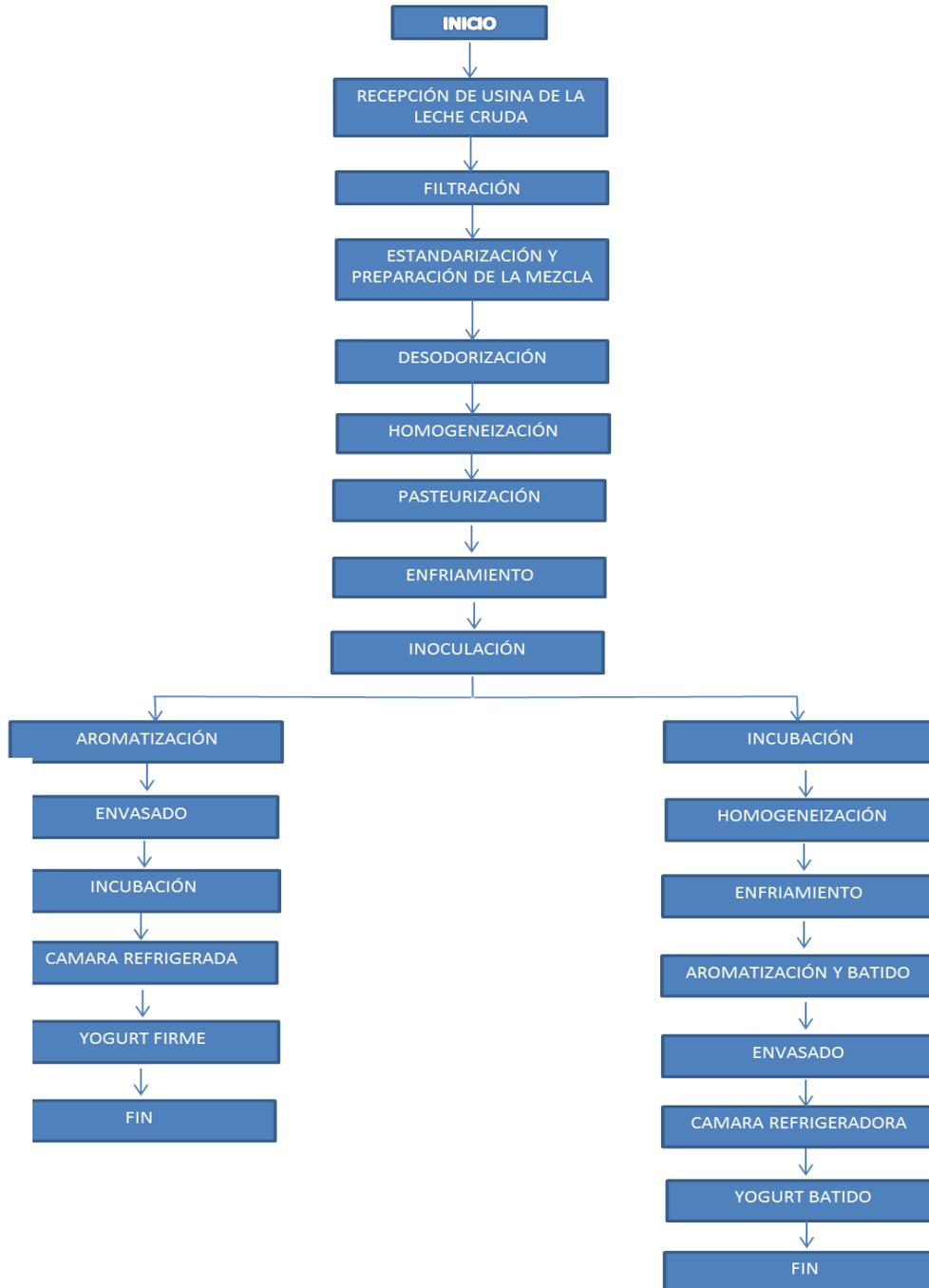


Figura 9. Esquema de la elaboración del yogurt(MASTELONE, 2000).

### *II.XI.1 Conservación del yogurt*

El contenido de ácido láctico en las leches fermentadas, como el yogurt, kefir y otras, no permite el desarrollo de bacterias proteolíticas y debido a esto se previene su descomposición. Sin embargo, estos productos deben ser conservados en refrigeración, para detener la producción de ácido.

El yogurt se mantiene en buenas condiciones durante 8 a 10 días, conservado en refrigeración; pasado este tiempo, el nivel de acidez se incrementa a más de 1.5%, disminuyendo la calidad organoléptica del producto.

En muchos países el yogurt se consume debido a su contenido activo de fermento láctico; debido a esto no está permitida la pasteurización, ni el uso de conservadores químicos para prolongar el periodo de conservación del producto.

En los casos que estuvieran permitidos, es posible prolongar el periodo de conservación del yogurt, mediante un tratamiento térmico del producto terminado; se pasteuriza el yogurt a 72 °C - 75 °C y se enfría de inmediato hasta 10-15 °C, en un intercambiador de calor; luego se envasa en condiciones asépticas. El tratamiento térmico debilita la estructura del yogurt, por lo que es necesario añadir un estabilizador a la leche antes del pretratamiento.

El cultivo láctico.- El cultivo o fermento láctico utilizado para la producción de yogurt, se prepara a partir de cultivos puros, suministrados por laboratorios especializados. El cultivo, normalmente, se adquiere deshidratado (liofilizado), en forma de polvo, por lo que es necesario activarlo antes de ser utilizado. La propagación del cultivo, se hace preparando un cultivo madre o cultivo intermedio, a partir del cual se obtiene el cultivo industrial.

El cultivo o fermento para yogurt, está constituido por una combinación de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, en la relación 1:1.

Preparación de cultivo láctico para la producción de yogurt

La preparación de cultivos lácticos para la producción industrial, exige ciertos cuidados, a fin de mantener la pureza, el balance de los microorganismos constituyentes y la actividad óptima del cultivo.

El cultivo láctico para yogurt, está constituido por una combinación de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* al 50%; estos dos microorganismos crecen en simbiosis y ambos son responsables de la fermentación láctica de la leche. Para obtener un buen yogurt, es importante mantener el balance en producciones sucesivas.

La relación entre las dos bacterias se mantiene controlando las condiciones óptimas para la propagación del cultivo. Estas condiciones son:

- Cantidad inoculada: 3% de fermento láctico
- Temperatura de incubación: 42 a 45 °C
- Tiempo de incubación: 3 horas

En el proceso de propagación de la cepa se distinguen tres tipos de cultivos:

- El cultivo original o cultivo puro.- Es el cultivo, generalmente liofilizado (en polvo), que se adquiere de laboratorios especializados.

- Cultivo madre.- Se prepara a partir del cultivo puro y se utiliza para la preparación del cultivo industrial o fermento láctico para la producción diaria. El cultivo madre debe ser renovado periódicamente.

- Fermento o cultivo industrial.- Se prepara a partir del cultivo madre o intermediario y se utiliza directamente para la producción industrial.

En el proceso de propagación del cultivo, las condiciones higiénicas del material y del ambiente en que se trabaja, son de suma importancia; es preferible realizarlo dentro de espacios aislados y esterilizados para evitar riesgos de contaminación.

La leche para la propagación del cultivo, debe ser de buena calidad, puede ser leche descremada o leche en polvo descremada reconstituida.

Para la preparación del cultivo madre, la leche es pasteurizada a 90 °C durante 30 minutos, se enfría, luego hasta 43 - 45 °C y se inocula con 3% de cultivo puro. Después de 3 horas, cuando la leche ha coagulado, se enfría rápidamente a 4 °C (en refrigeración) para detener la actividad bacteriana. Estefermento o cultivo madre sirve para preparar el fermento industrial, inoculándolo a 30 - 40 litros de lechepasteurizada, contenida en recipientes adecuados de aluminio o acero inoxidable.

El proceso para preparar el cultivo industrial, es el mismo que el descrito para el cultivo madre, encuanto al porcentaje de inculo, tiempo y temperatura de incubación y tratamiento térmico de la leche.

Estandarización de la leche.- El yogurt que más se comercializa es a partir de leche parcialmentedescremada. Para esto se normaliza el contenido de grasa de leche entre 1 y 2.5%. Para la elaboraciónde yogurt dietético (de bajas calorías), se normaliza el contenido de grasa a menos de 1%.

- Concentración de la leche y Homogenización.- La concentración de la leche, puede llevarse a cabo, porevaporación al vacío, en equipos especiales, en donde se evapora parte del agua de la leche (entre 10 y20%), a una temperatura promedio de 70 °C.

Un método más sencillo y económico para concentrar la leche, es la adición de leche descremada enpolvo, a la leche fresca. Esta adición se hace gradualmente y con agitación constante; luego la leche esprecalentada hasta 70 °C y pasada por el homogenizador a una presión de 2,500 a 3,000 lbs/pulg<sup>2</sup>. La adición de leche en polvo, varía entre 1 y 5%, sobre el peso de leche fresca utilizada.

Pasteurización.- Luego de la homogenización, la leche se somete a tratamiento térmico para destruirmicroorganismos patógenos; este puede realizarse en intercambiadores de calor donde la leche secalienta hasta 72 °C y se mantiene a

esta temperatura por lo menos 15 segundos; luego se enfría de inmediato. Se puede pasteurizar también en ollas u otros recipientes donde la leche se calienta hasta 85 °C, con agitación constante, manteniéndose a esta temperatura durante 15 minutos.

- Enfriamiento.- Después de la pasteurización la leche debe enfriarse de inmediato, en la sección regenerativa del intercambiador, hasta una temperatura de 45 °C. Si no se dispone de intercambiador; el enfriamiento se realiza sumergiendo en agua fría o helada, las ollas o recipientes en que se calienta la leche; en este caso es muy importante evitar toda posible contaminación, después del tratamiento térmico.

- Inoculación e incubación.- La leche a 45°C se coloca en tanques o cubas de fermentación; estas deben ser lo más aisladas posibles, para evitar pérdidas de calor y mantener la temperatura de 45 °C en la leche cultivada o inoculada.

Añadir el cultivo láctico en la proporción de 3% (30 ml. por cada litro de leche); se dispersa con agitación por un par de minutos, para que se distribuya uniformemente en toda la leche. La leche cultivada se mantiene en las cubas de fermentación, durante 3 horas a 45 °C. Cuando se ha alcanzado la correcta acidez (0.6%), el yogurt debe ser enfriado rápidamente hasta una temperatura de 15 °C y en seguida se refrigera a temperatura de 4 °C.

La incubación puede realizarse también, directamente en los vasos para consumo, dependiendo del tipo de yogurt a elaborar. Según el método de manufactura se elaboran los siguientes tipos de yogurt:

Yogurt gelificado.- Es el yogurt de textura firme. Para su preparación, la leche pre-tratada se envasa inmediatamente después de la inoculación y coagula en el vaso.

Yogurt batido.- La leche pre-tratada es inoculada en los tanques de incubación y coagula antes de ser envasada. Este tipo de yogurt es más fluido que el anterior, debido a que después de la coagulación, se somete el producto a un batido moderado, que le da la consistencia final.

## Saborizado del yogurt

El saborizado del yogurt se realiza mediante la adición de extractos naturales, frutas endulzadas o sinendulzar, sabores o esencias artificiales.

La forma más común de saborizar el yogurt, es mediante la adición de frutas endulzadas, reforzadas con sabores artificiales. El nivel de fruta que se adiciona al yogurt, es alrededor de un 10 a 15%, lo cualno es suficiente para conseguir un buen sabor y color en el yogurt; por lo que es necesario reforzar lafruta natural con productos concentrados, naturales o artificiales.

Normalmente se prepara una mezcla base de fruta con 25 a 45 % de azúcar, pectina, esencia y color artificial. Esta mezcla base de fruta debe ser sometida a un tratamiento térmico que inactive todos losmicroorganismos vegetativos, sin afectar el sabor y estructura de la fruta. Para conservar la fruta que nova a ser utilizada de inmediato, se puede añadir sorbato de potasio o benzoato de sodio a un nivel de0.1%.

La adición de la fruta al yogurt, se puede hacer mediante dos procedimientos, según el tipo de yogurt a elaborar.

Yogurt tipo suizo.- La fruta y el yogurt están mezclados. En este caso primero se incuba la lecheinoculada, durante 3 horas; cuando el yogurt está listo, se mezcla con la fruta antes del envasado.

Yogurt tipo "sundae".- La fruta se encuentra en el fondo del vasito y generalmente se mezcla antes deser consumida. En este caso, se coloca la fruta en el fondo del vasito, se vierte cuidadosamente la lechecultivada y se llevan a incubar los vasitos por tres horas a 45 °C; luego se enfrían y se refrigeran, estando listos para el consumo humano.

La fruta que se utiliza para este tipo de producto, debe ser de una consistencia que no le permita mezclarse con la leche cultivada, al momento de añadir está en el vasito.

#### Calidad del yogurt

El yogurt de buena calidad debe tener una consistencia suave y una apariencia lisa y brillante.

En la evaluación de la calidad del yogurt, se consideran las siguientes características:

El cuerpo del producto.- Es una característica que incluye los conceptos de viscosidad y consistencia. El cuerpo del yogurt, depende esencialmente de la concentración de proteínas de la leche, pues estas son las que coagulan; eventualmente depende también de la presencia de estabilizadores. Los estabilizadores más apropiados para el yogurt son los carragenatos, ya que dan una consistencia de flan a diferencia de otros que dan una consistencia muy firme.

- La acidez del yogurt.- El nivel de acidez debe estar comprendido entre 0.60 y 1.5% de ácido láctico. El pH del yogurt debe estar entre 4 y 4.5. Niveles de acidez mayores de 1.5% determinan una menor calidad organoléptica. **(Valderrama, 2001)**

#### **II.XII Propiedades organolépticas.**

Las propiedades organolépticas de los alimentos, materias primas alimentarias, cosméticos, especialidades de uso oral, y otros, tienen un efecto determinante sobre su consumo y éxito comercial. De aquí la necesidad de estudiar, definir y evaluarlas correctamente.

Las propiedades descritas como organolépticas son:

- Gusto o Sabor
- Olor
- Color o Aspecto

- Textura

Existe una gran confusión en la descripción de estas propiedades y se emplean múltiples matices en su indicación:

Hedor, olor, aroma, fragancia, perfume

Desfavorable Favorable

Las palabras empleadas para describir los olores, el gusto, el color, la textura, etc., implican apreciaciones de valor cualitativo y cuantitativo.

Hay que resaltar que la respuesta organoléptica es debida a combinaciones de sensaciones químicas percibidas por ej. en el gusto por los receptores situados en la lengua y el paladar, de moléculas esencialmente no volátiles y en el olor sensaciones obtenidas por interacción con los receptores olfativos, extendidos en los pasajes nasales y es debido básicamente a las sustancias volátiles.

Existe una gran confusión en la determinación y en la descripción de las propiedades organolépticas por ej. algunas personas emplean indistintamente palabras como gusto, sabor, olor, aroma, perfume, sin un empleo conceptual único para las mismas. Para estandarizar estas definiciones y facilitar nuestro trabajo hemos adoptado las siguientes:

Sabor = Gusto + Olor

Aspecto = Textura + Color

La definición de sabor y aspecto es arbitraria pero necesaria, para evitar la confusión inherente al estudio de estas propiedades, y adoptar unos criterios consistentes en su evaluación.

Las sensaciones químicas recibidas por los diferentes receptores están condicionados por aspectos culturales, familiares, psicológicos, religiosos, y de muy diferente índole (como indica el diccionario: condición e inclinación natural propia de cada uno).

### III. METODOLOGÍA

#### III.I Análisis de recepción de leche.

La leche utilizada para la elaboración del yogurt debe ser previamente pasteurizada y descremada al 100%, como se indica en el apartado 5.2 de la NOM *NOM-243-SSA1-2010*, de lo contrario no es posible utilizarla, ya que el producto obtenido no se apegaría a las propiedades organolépticas (sabor, olor, textura) requeridas.

En esta parte del proceso, el principal factor a considerar es la medición del pH, que es tomado de una muestra de 25 ml de leche a 25°C con las características mencionadas en el párrafo anterior. Para el análisis de la muestra se utiliza el analizador de leche Lactoscan Milkanalyser SR60 (ver Anexo 1) que es parte de la instrumentación instalada en el laboratorio.

Tabla 3. Estado inicial de la leche

<b>Lactoscan SR60</b>
<b>Número de serie:6525</b>
<b>Resultados:</b>
<b>Grasa.....0.02%</b>
<b>Lactosa...4.9%</b>
<b>Densidad...33.51</b>
<b>Sólidos....0.81%</b>
<b>Proteínas...3.42%</b>
<b>Porcentaje Agua..0.00%</b>
<b>Temp. de la muestra...35.7</b>
<b>pH.....6.67</b>
<b>Conductividad....4.29</b>

En la tabla 3, se muestran las condiciones ideales de la leche pasteurizada y descremada de vaca, debe realizarse la comparación con los resultados obtenidos en cada prueba que se realice para la elaboración del yogurt, ya que pueden variar según las condiciones iniciales de la leche, pero se recomienda que el porcentaje máximo absoluto de variación sea del 5%. El valor normal está alrededor de 6.8 pH. Valores inferiores a pH 6.8 pueden indicar una infección en el animal, que puede ser grave si el pH es inferior a 4.4 (**Spreer,2009**).

En la figura 10, se muestran los datos obtenidos del Lactoscan Milkanalyser.



Figura 10. Analizador de leche (Lactoscan Milkanalyser SR60).

Antes de realizar el proceso de fermentación del yogurt deben elaborarse las jaleas de fruta natural que son mezcladas con el yogurt terminado.

En el siguiente apartado, se describe el proceso requerido para la producción de las jaleas.

### **III.II.Elaboración de la Jaleas de Fruta Natural**

#### **III.II.I Elaboración de jalea de Fresa:**

1.- Se lavan y desinfectan las fresas con 20 gotas de yodo por cada 10lts de agua durante 20 minutos.

2.- Se ponen a hervir las fresas con la mitad de agua que ocupe la fruta dentro del recipiente que las contenga.

3.-Una vez hervida la fruta mantenerla de 80 a 85°C y agregar lentamente un kilogramo de azúcar por cada kilo de fresas hasta que ésta quede disuelta totalmente.

4.-Mover la mezcla hasta que se incorpore perfectamente y se haga una solución espesa con la fruta cocida.

5.-Dejar enfriar y si se requiere guardar, congelarla hasta su uso.



Figura 11. Fresas desinfectadas para la elaboración de jalea.

Por ejemplo, para 1.4 kg de fresa se le agrega 1.4 kg de azúcar, la relación es 1:1, el rendimiento aproximado es de 2.1 kg de producto final.

### **III.II.II Elaboración de jalea de Mango Ataulfo:**

- 1.- Se lavan y pelan los mangos para después extraer la pulpa.
- 2.-Por cada kilogramo de pulpa de agregan 800 gramos de azúcar.
- 3.-Colocar la pulpa en un recipiente y agregar agua dejando que se cubrasolo la mitad de lo que abarca el mango.
- 4.-Dejar hervir el mango con agua y agregar azúcar poco a poco, cuidando que se incorpore bien la mezcla y quede uniforme.
- 5.-Mantener a temperatura de 80 a 85°C hasta que esté bien cocida e incorporada la jalea.
- 6.-Dejar enfriar, reposar y congelar si se va a almacenar.



Figura 12. Mango pelado y despulpado para la elaboración de jalea.

### III.II.III Elaboración de jalea de Guayaba:

- 1.-Lavar, desinfectar y retirar la piel de las guayaba.
- 2.-Colocarla en un recipiente y cubrir con la mitad de agua que ocupe la fruta.
- 3.-Dejarla hervir e incorporar en relación 1:1, es decir, por cada kilogramo de fruta añadir un kilogramo de azúcar.
- 4.- Mantenerla de 80 a 85°C, una vez cocida mezclar perfectamente hasta que quede una mezcla uniforme.
- 5.-Dejar reposar y enfriar.
- 6.-Una vez frío moler y colar para quitar las semillas que contiene la jalea.
- 7.-Refrigerar hasta su uso.

Por ejemplo, si se agregan 2 kg de guayaba y 2kg de azúcar se obtiene un rendimiento de 3.35 litros de jalea.



Figura 13. Cocción de jalea de guayaba.Figura 14.Jalea de guayaba.

Una vez hecho lo anterior, se puede comenzar el procedimiento de elaboración de yogurt natural.

### **III.II.IV Elaboración del Yogurt**

El proceso se inicia con leche de vaca pasteurizada y descremada al 100%, posteriormente, se filtra por manta de cielo, para asegurarse de que la leche no contenga algún residuo o material no deseado.

Se lleva a 20°C y se disuelven 75 gramos de leche en polvo por cada 1.5 litros de leche pasteurizada, la mezcla se calienta, una vez que llega a los 65°C se le agrega la misma proporción de azúcar que de leche en polvo, hasta que se disuelve por completo, se continúa calentando hasta llevarla a una temperatura de 85°C a 90°C, manteniéndola así por 30 minutos; teniendo especial cuidado para que no se formen grumos.

La relación de azúcar y leche en polvo como se mencionó anteriormente, es de 75 gramos de leche en polvo por cada 1.5 litros de leche pasteurizada y la misma proporción para el azúcar.

Así por ejemplo, si se requiere hacer yogurt con 22 litros de leche pasteurizada, se utilizan 1100 gramos de leche en polvo y 1100 gramos de azúcar.

Posteriormente, se baja la temperatura a 55°C y se coloca en el depósito en donde la temperatura se mantendrá de 42°C a 45°C, en ese momento agregar el inóculo, que es un cultivo láctico que permite el desarrollo de bacterias que le dan la acidez y sabor característico al producto lácteo fermentado.

El inóculo debe agregarse en la proporción señalada a continuación:

El fermento láctico se comercializa en presentación para 500 litros de yogurt, pero debe realizarse la proporción para los litros que se deseen preparar, para el ejemplo que se ha venido mencionando en la preparación de 22 litros de yogurt, se realiza una regla de tres con los 500 litros que pueden prepararse de yogurt para los 16.9 gr de fermento que contiene el sobre (ver ecuación1).

$$22 \text{ litros de yogurt} \left( \frac{16.9 \text{ gramos de inóculo}}{500 \text{ litros}} \right) = 0.74 \text{ gramos de inóculo} \quad (1)$$

Así que, para 22 litros de yogurt deben agregarse 0.74 gramos de cultivo láctico.

Una vez adicionado el cultivo, se procede a accionar el motor del depósito durante 5 minutos, esto se realiza para mezclar y homogeneizar la leche pasteurizada, azúcar y leche en polvo con el cultivo láctico. Se detiene el motor y se toma una muestra que se lleva al Lactoscan Milkanalyser para verificar cuales son las condiciones de la leche en ese momento. Debe realizarse un monitoreo constante de pH, más adelante se abordará ese tema a fondo.

El inóculo permanece vivo mientras la temperatura se mantenga de 42 a 45°C por lo cual es muy importante mantenerla en ese rango durante un tiempo aproximado de 4 a 4 horas y media, cabe mencionar que el depósito y todas las condiciones que se le dan al proceso favorecen a la disminución del tiempo de elaboración, esto es muy importante ya que de forma puramente artesanal, el proceso puede tardar hasta 12 horas, la reducción de tiempo es un factor muy importante en este proyecto.

Los valores que deben obtenerse a partir de que se agrega el inóculo y comienza la fermentación deben ser alrededor de los mostrados en la Tabla 4.

Los datos presentados son para el ejemplo abordado desde el inicio de la preparación para 22 litros de yogurt, los cuales vienen en comparación con la Tabla 3.

Tabla 4. Datos de la leche pasteurizada una vez agregada leche en polvo, azúcar e inóculo.

<b>Lactoscan SR60</b>
<b>Número de serie:6525</b>
<b>Calibración 1 Cow</b>
<b>Resultados:</b>
<b>Grasa:...1.80%</b>
<b>Densidad....59.81</b>
<b>Lactosa....8.81%</b>
<b>Solidos....1.49%</b>
<b>Proteína.....6.16%</b>
<b>Temp. de la muestra.....39.2</b>
<b>pH.....6.16</b>
<b>Conductividad....3.97</b>

*Nota: los valores pueden variar dependiendo de las condiciones originales de la leche, puede diferir máximo en un  $\pm 5\%$ .*

Con esto podemos observar que los valores respecto a la Tabla 3 aumentaron casi en todos los casos, menos en el pH que bajo de 6.71 a 6.56, lo cual es conveniente, porque el propósito es disminuirlo hasta 4.5 pH.

En la tabla 5, se registran los valores que se obtienen del monitoreo de pH y temperatura en el proceso de fermentación que tiene una duración aproximada de 4 a 4 horas y media.

Se debe mantener la temperatura de 42°C a 45°C y revisar sus parámetros cada hora, durante las primeras 2 horas y cada media hora a partir de la tercera, hasta el tiempo que se requiera para llegar a 4.5 pH (**NOM-051-SCFI/SSA1, 2010 apartado 6.2.3.1**).

Tabla 5. Registro de datos del proceso de fermentación.

Hora	Temperatura del depósito °C	Temperatura de la muestra °C	pH
01:00 p.m	43	43	6.16
02:00 p.m	43	39.9	5.98
03:00 p.m	42.5	40.8	5.42
03:30 p.m	42	39.5	5.05
04:00 p.m	42.2	40	4.93
04:30 p.m	41.9	40.1	4.8
05:00 p.m	42	39.8	4.71
05:30 p.m	42	40.2	4.62

Una vez que el pH ha llegado a 4.62 se apaga el calentador y la bomba de recirculamiento, el proceso concluye y la temperatura del yogurt debe descender de 42°C hasta los 4°C, esta temperatura se marca dentro de la [NOM-051-SCFI/SSA1-2010] como ideal para la conservación durante 10 días aproximados, esto con el propósito de que el cultivo no se siga reproduciendo, no exista presencia de sinéresis o separación del fermento con el suero de la leche y se conserve el producto terminado.

Adicionalmente, una vez que el pH llega a 4.62 se abre la electroválvula y se extrae el producto para posteriormente ser enfriado hasta los 15 °C, a esta

temperatura se le debe adicionar la jalea en una proporción de 650 ml por cada 5 litros de yogurt, esta proporción puede variar debido a las diferentes temporadas en donde de la fruta puede ser más o menos dulce.

Después, se mezcla la jalea con el yogurt hasta que ésta sea homogénea y se reduce la temperatura a los 4°C para su conservación.

Opcionalmente se puede realizar una prueba de acidez, cabe mencionar que la exactitud es arbitraria debido a que el resultado depende de la apreciación de quien realice el experimento.

Prueba de acidez Grados Dornic (°D).

- 1.- Tomar una muestra de 9ml de leche en un vaso de precipitado.
- 2.- Poner 3-4 gotas de fenolftaleína al 2%.
- 3.- Titular con Hidróxido de sodio  $Na_2OH$  hasta obtener un rosa tenue. Los mililitros de  $Na_2OH$  utilizados se multiplican por 10 y nos dan los grados Dornic (°D).

En la Figura 11, se muestra el proceso implementado para la obtención de yogurt, el cual se describe a continuación.

Se realizó el diseño de la infraestructura para el depósito donde se elabora el proceso de producción de yogurt, se determinó el uso de acero inoxidable 316 para el depósito donde se coloca la leche previamente pasteurizada y descremada (8), el cual cuenta con dos orificios en la parte lateral inferior izquierda de 2" que sirven como entrada para llenar la chaqueta del depósito, también, cuenta con dos orificios en la parte superior frontal de 2" que sirven para recircular el agua fría o caliente según sea la etapa en la que se encuentra el proceso (11).

En la parte superior (tapa) tiene dos entradas de 2" cada una, por una de ellas se deposita la materia prima (inóculos, leche y saborizantes) y por la otra se coloca el

sensor de temperatura tipo K de tal forma que se pueda obtener una medición de la parte representativa del proceso, esto es, donde la temperatura y condiciones sean uniformes.

En la parte inferior, al centro, se encuentra una salida para el producto terminado, regulada por una electroválvula (7), que es accionada por un compresor de ½ hp (5), lo cual es de gran ayuda ya que hace más eficiente el lavado del depósito, facilitando así el drenado del agua (11).

Para realizar la instalación eléctrica en el Laboratorio de Lácteos se hizo una derivación para una línea trifásica que alimenta al motor mezclador del depósito (1) y monofásica a partir del centro de carga del cuarto contiguo, de ésta se conectó; el motor trifásico (1), el calentador (4), la bomba (6), el compresor (5) y el arrancador del motor (4).

Al definir el suministro de agua para el recirculamiento de la misma se encontró un problema en la toma, ya que estaba alejada de donde se instaló el depósito, así que se realizaron las conexiones de cobre. Para la provisión neumática se instaló a un lado del depósito un compresor (5) con capacidad de ½ hp para controlar el abierto y cerrado de la electroválvula (7).Caja con botones ON-OFF (4) para el accionamiento y paro del motor trifásico. Bomba (6) para accionar el recirculamiento de agua al depósito que la contiene.

La figura 14, muestra la instalación y partes descritas en los párrafos anteriores.



Figura 15. Implementación del proceso de producción de yogurt en el Laboratorio de Lácteos en el Campus Amazcala.

#### **IV. RESULTADOS**

Entrega del proyecto “Diseño y equipamiento para el laboratorio de productos lácteos” a (FIFI) Fondo de Investigación de la Facultad de Ingeniería, como parte del Laboratorio de productos Lácteos en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Se obtuvo la estandarización del proceso de elaboración de yogurt natural y de sabores guayaba, mango y fresa, basado en los puntos principales y señalados en el Anexo de la Norma NOM-243-SSA1-2010, se realizó la implementación del sistema de recirculamiento de agua, del sistema neumático, del control de temperatura y el monitoreo de pH durante la fermentación, para obtener un producto lácteo fermentado. Adicionalmente, se realizó la promoción del producto dentro del Campus de la Universidad Autónoma de Querétaro como producto terminado, con un alto valor nutricional y sin conservadores.

Se cumplió con el objetivo de controlar la temperatura dentro del depósito ya que se logró mantener de 42-45°C durante la fermentación de la leche, lo cual es de gran importancia ya que mientras mayor sea la diferencia con la temperatura óptima (42-45°C) y menor sea el inóculo agregado, mayor es el tiempo de fermentación. Por lo tanto, en el proceso se mantienen las condiciones recomendables de temperatura durante la estandarización y esto no sólo influye en la acidez final sino también en la relación entre bacterias, produciendo así un tiempo de fermentación ideal en un lapso aproximado de 4.5 horas, que para efectos de producción es muy importante, ya que se obtiene yogurt en una duración menor que en las pruebas iniciales y que en los procedimientos de industrias consultadas ( información proporcionada en la visita realizada por LACTEL al Laboratorio de Lácteos instalado en Amazcala).

Mediante el monitoreo de pH se determinó el tiempo exacto para el cual la temperatura tendría que descender de 45 a 4°C, para así obtener un producto lácteo fermentado con un pH máximo de 4.5 como marca la **(NOM-243-SSA1, 2010 )**y pueda tener una denominación yogurt.

En las siguientes figuras se muestra la salida del yogurt (Figura 15 y Figura 16), así como una vista general del equipo para la elaboración de yogurt (Figura 17) y, finalmente (Figura 18), la vista interior de la caja donde se encuentra el pirómetro para el control de temperatura.



Figura 16. Salida del yogurt



Figura 17. Producción de yogurt natural



Figura 18. Equipo para la elaboración de yogurt  
pirómetro para el control de temperatura.

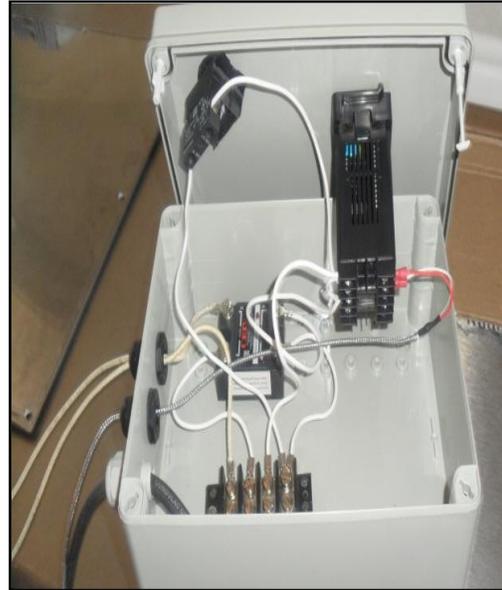


Figura 19. Vista interior de la caja donde se encuentra el

## V. CONCLUSIONES

Los puntos críticos manejados en el proceso de elaboración de yogurt son: el pH, el cual, no fue posible medirlo en línea por dos razones fundamentales, la primera es que de acuerdo a las características de la forma del depósito, el sensor de pH no puede dar una lectura confiable porque no está en contacto con la muestra representativa de la composición del producto; por esta razón se opta por tomar muestras pequeñas analizadas fuera del proceso, obteniendo de esta manera una lectura confiable de lo que ocurre durante el tiempo de fermentación (cuando el pH desciende de 6.7 a 4.6 pH); la segunda razón, es el costo del medidor de pH ya que para poder tomar mediciones en línea se requiere de un sensor especial llamado ISFET, con el cual es posible una medida directa del pH en productos alimenticios (zumos, vino, carne, queso, productos lácteos, etc.); si diseño, sin piezas de cristal permite hacer la prueba directa en el procesado de alimentos sin riesgo de contaminación (según viene estipulado en el US Food and Drug Administration) **(Mosler, 2008)**, éste sensor tiene un costo aproximado de 80 mil pesos ya que debe insertarse dentro del depósito. Por lo tanto, no pudo hacerse la inversión y se decide optar por el muestreo, ya que éste sensor rebasaba el presupuesto que fue de 50 mil pesos,

La temperatura fue controlada dentro del depósito con el uso de un termopar tipo K para captar el calor y placas de acero inoxidable montadas en las paredes del depósito, las cuales se calientan mediante el uso de un calentador eléctrico a una temperatura de 80°C para realizar la estandarización de la leche y después baja hasta los 42°C, lo cual es ideal para una fermentación más rápida, es decir, un descenso de aproximadamente 6.67 pH a 4.6 pH.

La estandarización del proceso de elaboración de yogurt se realizó en base a una serie de requerimientos de la NOM-243-SSA1, 2010 marcados en el apartado del Anexo 1.

El alcance de este proyecto está definido para la primera etapa del proceso de producción, que es el producto elaborado y con denominación yogurt, trabajos a futuro sobre éste proyecto podrían ser la automatización del envasado y etiquetado del producto terminado.

Para la realización de este trabajo no solamente se implementa un proceso de producción de yogurt con elementos preestablecidos o disponibles dentro del laboratorio de productos lácteos, también se efectuaron otras modificaciones como la línea de alimentación eléctrica, neumática e hidráulica y realizar mantenimiento correctivo de equipos necesarios para el proyecto como reposición de piezas de la pasteurizadora, mantenimiento del Lactoscan, así como ejecutar una derivación eléctrica para poder conectar el compresor, la bomba y el calentador.

Una mejora al sistema puede ser en el aspecto de la refrigeración ya que es necesario que la temperatura descienda de manera drástica en la primera etapa, cuando debe descender de 85°C a 45°C y una vez que se obtiene un pH de 4.6 debe bajar hasta los 4°C, por lo tanto, un proceso de control de enfriamiento es una solución a este requerimiento y es un punto que puede tomarse en cuenta para el desarrollo de un sistema automático.

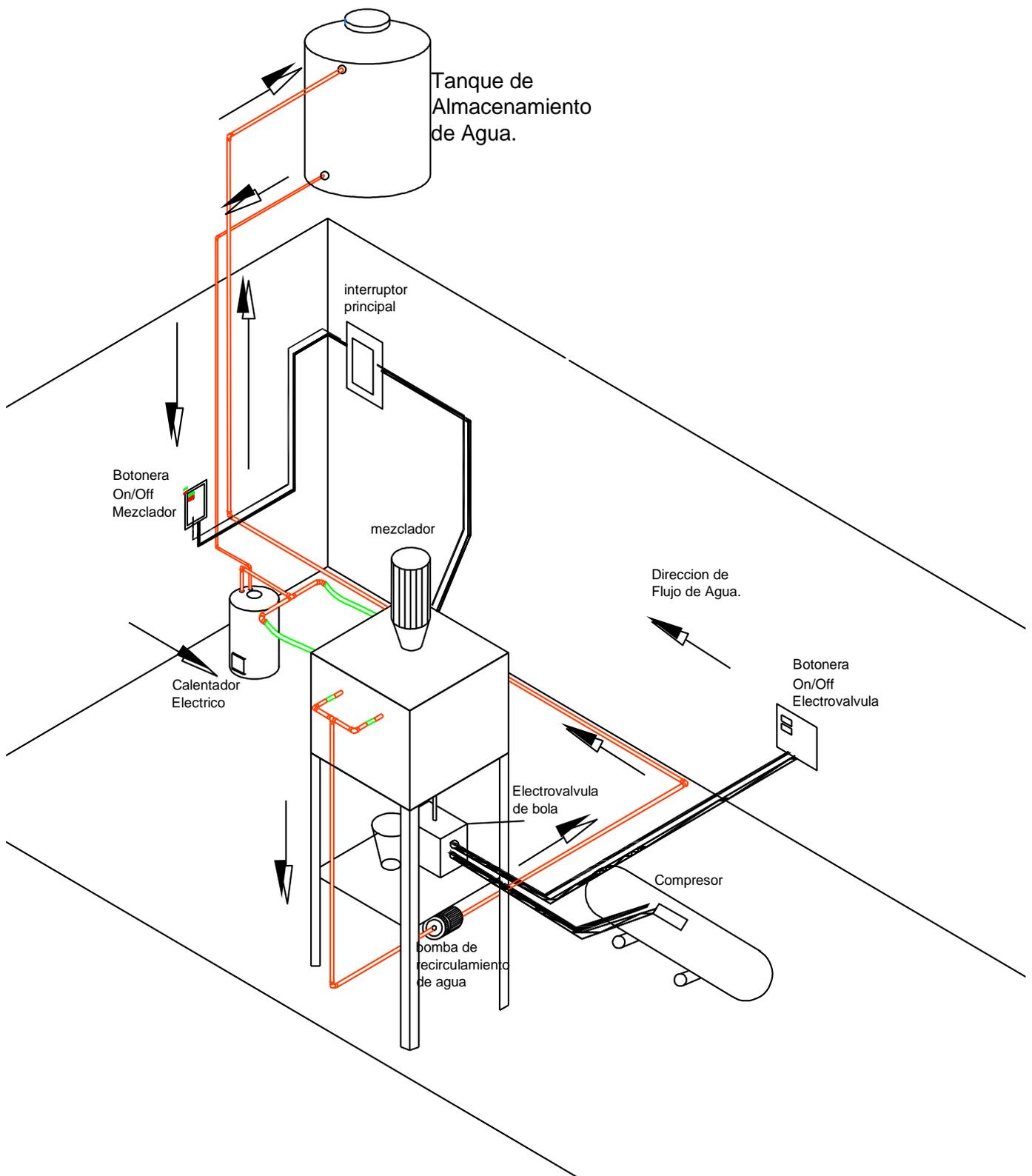


Figura 20. Diagrama general de instalación para el proceso de elaboración de yogurt.

Se desarrolló un proyecto encaminado a la producción de yogurt que cumple con puntos aplicables establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, a través del análisis del monitoreo y control de las variables analíticas (pH y temperatura). Se dotó de infraestructura e instrumentación al Laboratorio de Productos Lácteos para el proceso de elaboración del yogurt y con esto, se cumple el propósito de aprovechar la leche como materia prima generada en el Campus Amazcala. El producto obtenido tiene un alto valor nutricional, es 100% natural y dado que no contiene ningún tipo de conservador, péctina, goma gúar, colorante o saborizante artificial, marcados dentro de la NOM-243-SSA1-2010, su tiempo de caducidad es de 10 días, lo cual da un tiempo apto para su comercialización. Con este trabajo se da un mayor crecimiento y prestigio a la Facultad, dando un proyecto tecnológico implementado y comercializado por alumnos de la Facultad de Ingeniería, ofreciendo productos a la sociedad estudiantil 100% Universitarios.

## REFERENCIAS

- [1] Dir. Carlos Alberto de Sanzo Revista Autosuficiencia Económica, Buenos Aires, Argentina <http://www.autosuficiencia.com> Copyright 2003-2010.
- [2] Pascual Mastellone. “El mundo de la Leche” Editorial Estrada, 2005, 3ª Ed.
- [3] González Saldaña, P. SaltigeralSimental, Antimicrobianos, Antivirales, antiparásitos, antimicóticos Ed. McGrawHill N. 2001 5ª.Ed.
- [4] J.A. Ruiz Rivera y A.O. Ramírez Matheus 2008. Yogurt making by using probiotics (*Bifidobacterium* spp. and *Lactobacillus acidophilus*) and Inulin Instituto de Química y Tecnología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.
- [5] Revista Infoagro 2011 <http://www.infoagro.com>.
- [6] Tomado de la página web de MILKAUT S.A. [http://www.milkaut.com.ar/elab\\_prod/yogur.htm](http://www.milkaut.com.ar/elab_prod/yogur.htm) (2006)
- [7] Autor: Spreer, Edgar. Libro Lactología Industrial Capitulo: Productos Lácteos Fermentados 2009– Yogurt pag: 432. Editorial Acribia S.A. (Zaragoza, España).
- [8] S. Damodaran, K. L. Parkin y O. R. Fennema Fennema Química de los Alimentos (traducido al español) 1166 páginas. Año: 2010 (3ª Edición).
- [9] Romain Jeantet, Thomas Croguennec, Pierre Schuck y Gerard Brulé (traducido al español). Ciencia de los Alimentos (volumen 2). Tecnología de los productos alimentarios 2010 (1ª edición).
- [10] Extraído directamente de la página de la empresa TECNOLACTEA [http://www.tecnolactea.com/productos\\_lacteos3.htm](http://www.tecnolactea.com/productos_lacteos3.htm).

- [11] Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-181-SCFI-2010, yogur, yogurt, yoghurt, yoghurth o yogurth-denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
- [12] Comisión del Codex Alimentarius Organización de las Naciones Unidas. Organización Mundial Para la Agricultura de la Salud y la Alimentación (2010).
- [13] Mastellone Pascual, El Mundo de la Leche Ayudando a conocer el mundo de la leche, 3 Ed. Buenos Aires – 2000.
- [14] MMM –Soporte técnico Mosler. *Mari Mosler Makinose* Leuschnerdamm 3 D - 10999 Berlin, *Alemania*. 2008 by [MMM - Mosler Tech Support](#)

## VII. ANEXOS

Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones Generales De Etiquetado Para Alimentos Y Bebidas No Alcohólicas.

### *3.16 Etiqueta*

Cualquier rótulo, marbete, inscripción, imagen u otra materia descriptiva o gráfica, escrita, impresa, estarcida, marcada, grabada en alto o bajo relieve, adherida, sobrepuesta o fijada al envase del producto preenvasado o, cuando no sea posible por las características del producto, al embalaje.

### *3.17 Fecha de caducidad*

Fecha límite en que se considera que las características sanitarias y de calidad que debe reunir para su consumo un producto preenvasado, almacenado en las condiciones sugeridas por el responsable del producto, se reducen o eliminan de tal manera que después de esta fecha no debe comercializarse ni consumirse.

### *3.18 Fecha de consumo preferente*

Fecha en que, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, expira el periodo durante el cual el producto preenvasado es comercializable y mantiene las cualidades específicas que se le atribuyen tácita o explícitamente, pero después de la cual el producto preenvasado puede ser consumido.

### *3.19 Fibra dietética*

Los polímeros de hidratos de carbono con tres o más unidades monoméricas, que no son hidrolizados por las enzimas endógenas del intestino delgado humano y que pertenecen a las categorías siguientes:

- Polímeros de carbohidratos comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos en la forma en que se consumen;

- Polímeros de carbohidratos obtenidos de materia prima alimentaria por medios físicos, enzimáticos o químicos, y que se haya demostrado que tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud mediante pruebas científicas generalmente aceptadas y aportadas a las autoridades competentes;
- Polímeros de carbohidratos sintéticos que se haya demostrado que tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud mediante pruebas científicas generalmente aceptadas aportadas a las autoridades competentes.

### *3.20 Función tecnológica*

El efecto que produce el uso de aditivos en los alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados, que proporciona o intensifica su aroma, color o sabor, y/o mejora su estabilidad y conservación, entre otros. Véase aditivo

### *3.22 Información nutrimental*

Toda descripción destinada a informar al consumidor sobre las propiedades nutrimentales de un alimento o bebida no alcohólica preenvasado. Comprende dos aspectos:

- a) La declaración nutrimental obligatoria.
  - b) La declaración nutrimental complementaria.
- Manual de operación del pirómetro electrónico YUYAO series XMTG808 modelo XMTG818 (Control de Temperatura) versión 2009.
  - Thermo Scientific Orion Star and Star Plus Series Meter User Guide ([www.thermo.com/water](http://www.thermo.com/water))
  - Elaboración de Mermeladas. Procesamiento de Alimentos para Pequeñas y Micro Empresas Agroindustriales. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo. 2001.

- Ultrasonic milk analyser. Lactoscan SA. Operation manual. ([www.lactoscan.com](http://www.lactoscan.com) o [www.milktronic.com](http://www.milktronic.com))
- Appendices towards the Operation Manual of Ultrasonic milk analyzer Lactoscan. ([www.lactoscan.com](http://www.lactoscan.com) o [www.milktronic.com](http://www.milktronic.com))
- Sensorex. Product Specification Sheet. General Use Plastic and Glass pH and Reference Electrodes. ([www.sensorex.com](http://www.sensorex.com))
- Norma Oficial Mexicana [NOM-243-SSA1-2010](#), Productos y Servicios. Leche, Fórmula Láctea, Producto Lácteo Combinado y Derivados Lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de Prueba.

## **Anexo 1**

### **5. Especificaciones generales**

Los productos objeto de esta Norma, deben ajustarse a las siguientes especificaciones:

**5.1** El agua que se utilice en el proceso de elaboración debe ser para uso y consumo humano y cumplir con lo señalado en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

**5.2** Los productos objeto de esta Norma deben ser elaborados con leche o sus derivados, pasteurizados, o bien someterse a un tratamiento térmico que garantice su inocuidad.

**5.7** El productor de mantequilla, cremas, producto lácteo condensado azucarado, productos lácteos fermentados y acidificados y dulces a base de leche, así como el comercializador de los mismos, cada uno en el ámbito de su responsabilidad, deben observar que las sustancias empleadas para la eliminación

de plagas en cualquier parte del proceso, cumplan con las especificaciones establecidas en el Catálogo Oficial de Plaguicidas vigente del CICOPLAFEST.

## **5.7 Control documental del proceso**

**5.7.1** El proceso de los productos objeto de esta Norma debe documentarse en bitácoras o registros, de manera que garantice los requisitos establecidos (Tabla 1). Los registros o bitácoras, incluyendo las que se elaboren por medios electrónicos deben:

- a.** Contar con respaldos que aseguren la veracidad de la información y un procedimiento para la prevención de acceso y correcciones no controladas.
- b.** Conservarse por lo menos durante una y media veces la vida de anaquel del producto y estar a disposición de la autoridad sanitaria cuando así lo requiera.
- c.** El diseño del formato queda bajo la responsabilidad del fabricante.

## **6.2.3 Leche fermentada o acidificada.**

**6.2.3.1** Las leches fermentadas o acidificadas deben tener una acidez titulable de no menos de 0,5% expresada como ácido láctico y su pH debe ser máximo de 4,5.

## **9. Etiquetado**

**9.3** Cuando en la elaboración de los productos objeto de esta norma, se emplee leche que no procede de vaca, se debe indicar su origen.

**9.5** Los productos objeto de esta norma a excepción de los helados, bases para helados y sorbetes deben indicar “fecha de caducidad”.

**9.6** Si la identificación del lote corresponde a la fecha de caducidad, se deben indicar las leyendas: "Lote" y "Fecha de caducidad" o sus abreviaturas o sus equivalentes.

**9.7** En la etiqueta de productos pasteurizados y de aquellos que requieren refrigeración para su conservación, se debe incluir la siguiente leyenda: "Manténgase en refrigeración" o "Consérvese en refrigeración" o cualquier otra equivalente.

**9.21** Los productos envasados en punto de venta, deben ostentar la siguiente información:

**9.21.1** Nombre o denominación del producto.

**9.21.2** Fecha de envasado y, en su caso, fecha de caducidad, señalando el día y el mes y anteponiendo la leyenda que corresponda "fecha de envasado \_\_\_\_\_", "fecha de caducidad \_\_\_\_\_", o leyenda equivalente.

## **9. Productos lácteos fermentados y acidificados**

### **9.1 Especificaciones**

Los productos lácteos cultivados o fermentados y acidificados, deben ajustarse a las especificaciones del punto 5 de esta Norma (referente a abreviaturas) y a lo siguiente:

#### **9.1.2 Microbiológicas**

Los productos lácteos fermentados y acidificados no deben exceder las siguientes especificaciones microbiológicas:

**Tabla 6. Especificaciones microbiológicas para los productos lácteos fermentados y acidificados**

<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>LIMITE MAXIMO</b>
Coliformes totales	10 UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	<100 UFC/g
<i>Salmonella spp</i>	Ausente/25 g

**9.1.4 Aditivos para alimentos.**

**9.1.4.1** En la elaboración de los productos lácteos fermentados aromatizados y con adición de otros ingredientes, únicamente se permite el empleo de los siguientes:

**9.1.4.2** En la elaboración de los productos lácteos acidificados aromatizados se permite el empleo de los siguientes aditivos:

**Tabla 7. Aditivos para productos lácteos acidificados**

<b>ADITIVO</b>	<b>LIMITE MAXIMO</b>
Ácido acético	<b>BPF</b>
Ácido cítrico	BPF
Ácidofumárico	BPF
Ácido láctico	BPF
Acido málico	BPF
Acido L (+) tartárico	BPF
Alginato de calcio	0,2%
Alginato de potasio	0,2%

Alginato de sodio	0,2%
Goma arábica	BPF
Goma de algarrobo	BPF
Goma guar	BPF
Goma tragacanto	BPF
Goma xantano	BPF
Gelatina	BPF
Pectinas	BPF

**9.1.4.3** En la elaboración de productos lácteos fermentados aromatizados se permite el empleo de saborizantes, incluidos los naturales, de acuerdo a las BPF y de conformidad con lo establecido en el Acuerdo correspondiente.

## VIII. GLOSARIO

**Proteasas** Grupo de enzimas responsables de la hidrólisis de los enlaces peptídicos. Dos ejemplos de proteasas son la pepsina y la tripsina. enzima proteolítica análoga a la tripsina que corta secuencias polipeptídicas mediante la hidrólisis de enlaces peptídicos. Se encuentra presente en todos los organismos y participan en una gran variedad de procesos fisiológicos

**Termización** Calentamiento de leche cruda durante 10-20 segundos como mínimo a una temperatura comprendida entre 62°C y 65°C, ésta etapa tiene como objetivo higienizar la leche y acondicionarla microbiológica y enzimáticamente (se inactiva el crecimiento microbiano y se inactiva la acumulación de enzimas que pueden dar lugar a reacciones químicas no deseadas.

**Propiedad organoléptica.** Las propiedades organolépticas son el conjunto de descripciones de las características físicas que tiene la [materia](#) en general, según las pueden percibir nuestros sentidos, como por ejemplo su [sabor](#), [textura](#), [olor](#), [color](#). Su estudio es importante en las ramas de la ciencia en que es habitual evaluar inicialmente las características de la materia sin instrumentos científicos.

**BPF.** Las buenas prácticas de fabricación (en inglés *Good Manufacturing Practice, GMP*) son aplicables a las operaciones de fabricación de [medicamentos](#), [cosméticos](#), productos médicos, [alimentos](#) y [drogas](#), en sus formas definitivas de venta al público incluyendo los procesos a gran escala en hospitales y la preparación de suministros para el uso de [ensayos clínicos](#) para el caso de [medicamentos](#).

**Psicrótrofos.** Las bacterias y hongos psicrótrofos son los responsables de que los alimentos guardados en el refrigerador se estropeen al cabo del tiempo. Las psicrófilas facultativas o psicrotolerantes (también llamadas psicrótrofas) presentan temperatura óptima en torno a los 20-30°C y máximas a los 35°C.

**Cepa.** Conjunto de especies bacterianas que comparten, al menos, una característica. Es un grupo de organismos emparentados, como las bacterias, los hongos o los virus, cuya ascendencia común es conocida.