



**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Ingeniería Química**

**PROPUESTA PARA TECNIFICAR LA PRODUCCIÓN  
ARTESANAL DE YOGUR PROBIÓTICO**

**Claudia Isabel Reyes Tello**

Asesorado por el Ing. Orlando Posadas Valdez

Guatemala, abril de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA TECNIFICAR LA PRODUCCIÓN  
ARTESANAL DE YOGUR PROBIÓTICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**CLAUDIA ISABEL REYES TELLO**

ASESORADO POR EL ING. ORLANDO POSADAS VALDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, ABRIL DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruíz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

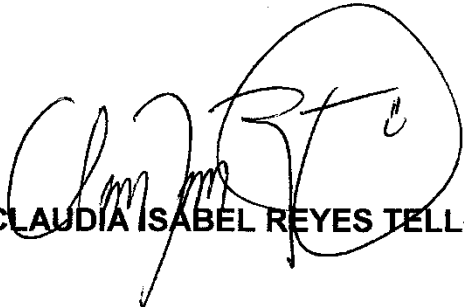
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Calderón García
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Inga. Thelma Marisela Cano Morales
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PROPUESTA PARA TECNIFICAR LA PRODUCCIÓN ARTESANAL DE YOGUR PROBIÓTICO,**

tema que me fue aprobado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Química, en mayo del 2007



**CLAUDIA ISABEL REYES TELLO**

Guatemala, 17 de Enero de 2008

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez.

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he asesorado el informe final del trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA PARA TECNIFICAR LA PRODUCCIÓN ARTESANAL DE YOGUR PROBIÓTICO”** desarrollado por la estudiante **Claudia Isabel Reyes Tello**, carné No. **1998-11975**.

Por lo cual, después de haber realizado la asesoría del respectivo informe final y de haber hecho las correcciones pertinentes considero que llena los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente

  
Ing. Orlando Posadas Valdez  
ASESOR



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

---

Guatemala, 19 de febrero del 2008  
Ref. EIQ.0053.2008

Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-009-08-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO a la estudiante universitaria **CLAUDIA ISABEL REYES TELLO**, identificada con carné No. **1998-11975**, titulado: **PROPUESTA PARA TECNIFICAR LA PRODUCCION ARTESANAL DE YOGUR PROBIÓTICO**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico, Orlando Posadas Valdés como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Reyes Tello** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA

Tribunal que revisó el informe final **ESCUELA DE**  
Del trabajo de graduación **INGENIERIA QUIMICA**




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA




FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación de la estudiante **Claudia Isabel Reyes Tello** titulado: **“PROPUESTA PARA TECNIFICAR LA PRODUCCIÓN ARTESANAL DE YOGUR PROBIÓTICO”**, procede a la autorización del mismo



Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc.  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, marzo de 2,008.



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 091.2008

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA TECNIFICAR LA PRODUCCIÓN ARTESANAL DE YOGUR PROBIÓTICO**, presentado por la estudiante universitaria **Claudia Isabel Reyes Tello**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in dark ink, consisting of a large loop and a vertical stroke.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, abril de 2008

/mestras



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Porque es mi razón de vivir y con su infinito amor, me da la vida, la fuerza y la inteligencia; que me hacen ser lo que soy hoy, sin Él nada sería.

**Mi madre**

**Dra. Luz Marina Tello Moreno**

Por tu amor incondicional, sostén buenos consejos y gran paciencia; gracias por ser una madre excepcional y estar dispuesta, a pesar de todo, a caminar conmigo esta carrera.

**Mi padre**

**Ing. Agr. Lorenzo Isaías Reyes Rodríguez (D. E. P.)**

Porque a pesar de ya no estar presente, fuiste una guía y tu recuerdo me acompañó siempre dándome valor.

**Mis hermanas**

**Rebeca B. Reyes T. de Illescas y Candy E. Reyes Tello Johnson**

Por estar siempre allí apoyándome, dándome ánimo cuando más lo necesitaba y alegrándose con mis triunfos, gracias por su amor nenas.

**Mis sobrinitos**

**Pablo, Sarahí y Santiago Illescas R.**

Con todo mi amor, porque siempre me dan su cariño incondicional y son una alegría en mi vida.

**Mis abuelitos**

**Jorge (+) y Aurelia Reyes  
Juan José (+) y Jovita Tello**  
Con todo cariño y respeto por  
siempre demostrarme su amor.

**Mis cuñados, tías,  
tíos y primos**

Por siempre darme su cariño, apoyo y  
buenos consejos.

**Mis amigos**

Por su ayuda, cariño e interés.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Mi Alma Mater, la Facultad de  
Ingeniería y a sus catedráticos en  
especial a los de la Escuela de  
Ingeniería Química; por brindarme  
durante este tiempo los  
conocimientos que me permitirán  
formarme como profesional.

**Mi Patria Guatemala**

A la que espero servir y honrar.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	IX
RESÚMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
<b>1 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Generalidades.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Definición y composición.....	1
1.1.2 Clasificación.....	2
<b>1.2 Bacterias en el yogur.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Bacterias ácido lácticas.....	3
1.2.2 Crecimiento bacteriano.....	5
<b>1.3 Yogur probiótico.....</b>	<b>7</b>
1.3.1 Definición de alimentos probióticos.....	7
1.3.2 Bacterias probióticas.....	8
1.3.3 Bifidobacterias.....	9
1.3.4 Beneficios de la ingestión de probióticos.....	10
<b>1.4 Principales procesos en la fabricación de yogur.....</b>	<b>11</b>
1.4.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de yogur.....	11
1.4.2 Acondicionamiento de la leche.....	12
1.4.3 Homogenización.....	13

1.4.4 Pasteurización.....	14
1.4.5 Siembra de cultivo.....	15
1.4.6 Incubación.....	16
1.4.7 Segundo enfriamiento.....	17
1.4.8 Consideraciones para evitar la contaminación en el yogur.....	18

## **2 PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN ARTESANAL DE YOGUR .....21**

<b>2.1 Generalidades en la elaboración artesanal de yogur.....</b>	<b>21</b>
2.1.1 Justificación de la elaboración artesanal de yogur.....	21
2.1.2 Materia prima y materiales usados en la fabricación artesanal.....	22
<b>2.2 Proceso artesanal de elaboración.....</b>	<b>24</b>
2.2.1 Recepción y control de calidad de la leche.....	24
2.2.2 Acondicionamiento de la leche.....	24
2.2.3 Pasteurización.....	25
2.2.4 Primer enfriamiento.....	26
2.2.5 Inoculación o siembra de cultivo bacteriano.....	26
2.2.6 Incubación de los cultivos bacterianos.....	27
2.2.7 Segundo enfriamiento.....	27
2.2.8 Batido.....	28
2.2.9 Incorporación de fruta.....	29
2.2.10 Envasado, etiquetado y almacenamiento.....	29
<b>2.3 Desventajas y limitantes del proceso actual.....</b>	<b>30</b>
2.3.1 Desventajas.....	30
2.3.2 Limitantes.....	31

<b>2.4 Identificación de variables en el proceso artesanal de producción de yogur probiótico.....</b>	<b>32</b>
2.4.1 Volumen.....	33
2.4.1.1 Estequiometría bacteriana.....	34
2.4.1.2 Cinética de crecimiento bacteriano.....	35
2.4.2 Temperatura.....	36
2.4.3 Tiempo.....	38
2.4.4 Otras variables.....	38
<b>3 TECNIFICACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN ARTESANAL DE YOGUR PROBIÓTICO.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 Criterios para tecnificar el proceso actual de elaboración de yogur.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 Implementación de un tanque biorreactor multiusos, para elaborar yogur probiótico.....</b>	<b>40</b>
3.2.1 Equipo industrial para el cultivo de microorganismos.....	40
3.2.1.1 Biorreactor.....	40
3.2.1.2 Proceso de cultivo bacteriano por lotes o tipo <i>Batch</i> .....	43
3.2.2 Selección y descripción de un tanque multiusos para elaborar yogur probiótico.....	44
3.2.3 Características requeridas en el tanque.....	46
3.2.4 Determinación de las dimensiones del tanque.....	47
3.2.5 Selección de materiales de fabricación.....	49
<b>3.3 Selección del equipo auxiliar para el tanque biorreactor para elaborar yogur.....</b>	<b>49</b>
3.3.1 Homogenizador.....	50

3.3.2	Agitador.....	52
3.3.3	Válvula de descarga de yogur del tanque hacia el envasado .....	54
3.3.4	Bombas para el transporte de yogur.....	55
<b>3.4</b>	<b>Envasado del yogur .....</b>	<b>57</b>
3.4.1	Envasado manual.....	58
3.4.2	Envasado semiautomático.....	59
<b>3.5</b>	<b>Proceso tecnificado para la elaboración de yogur probiótico en el equipo propuesto.....</b>	<b>60</b>
3.5.1	Diagrama y funcionamiento del equipo propuesto para elaborar yogur probiótico.....	60
3.5.2	Proceso de operación estándar del equipo propuesto.....	63
<b>3.6</b>	<b>Comparación del proceso actual con la propuesta del proceso tecnificado para fabricar yogur probiótico.....</b>	<b>66</b>
3.6.1	Comparación del proceso de preparación de la mezcla base.....	67
3.6.2	Comparación del proceso de siembra e incubación.....	69
3.6.3	Comparación del proceso de acondicionamiento final del yogur.....	70
<b>3.7</b>	<b>Uso del sistema <i>HACCP</i> para determinar los puntos de control en el proceso tecnificado.....</b>	<b>71</b>
3.7.1	Definición y conceptos generales de <i>HACCP</i> .....	71
3.7.2	Puntos de control a implementar en el proceso de elaboración de yogur probiótico.....	73

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>77</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>79</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>81</b>
<b>APÉNDICES</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>99</b>





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Curva de crecimiento bacteriano	5
2	Circuito de utensilios para la elaboración de yogur artesanal	21
3	Filtrado de la leche	24
4	Acondicionamiento de la leche	25
5	Tratamiento térmico	25
6	Preparación de cultivo liofilizado e inoculación	26
7	Incubación en incubadora artesanal	27
8	Enfriamiento de yogur	28
9	Batido de yogur	28
10	Agregado de fruta	29
11	Preparación de envases y almacenamiento	29
12	Biorreactor	41
13	Esquema de biorreactores	42
14	Pasteurizador discontinuo	45
15	Dimensiones del tanque multiusos propuesto	48
16	Mezclador rotor/ estartor	50
17	Mezcladora portátil de alta velocidad	51
18	Diferentes tipos de agitadores	53
19	Válvula de bola	55
20	Bomba de pistón rotatorio	56
21	Flujo en una bomba de paletas	57
22	Envasadora manual	58
23	Mini Envasadora y bomba peristáltica	59
24	Diagrama del equipo propuesto	61

<b>25</b>	<b>Diagrama de flujo comparativo del proceso para la de la mezcla base preparación del yogur</b>	<b>66</b>
<b>26</b>	<b>Diagrama de flujo comparativo del proceso para la siembra e incubación del cultivo bacteriano en el yogur</b>	<b>68</b>
<b>27</b>	<b>Diagrama de flujo comparativo del proceso para el acondicionamiento final del yogur</b>	<b>69</b>
<b>28</b>	<b>Calentador para fluido térmico</b>	<b>88</b>
<b>29</b>	<b>Caldera eléctrica para fluido térmico</b>	<b>89</b>
<b>30</b>	<b>Intercambiador de placas para fluido térmico</b>	<b>92</b>
<b>31</b>	<b>Reacción de fermentación ácido láctica</b>	<b>101</b>
<b>32</b>	<b>Nomeclatura de los diagramas de flujo</b>	<b>109</b>

## **TABLAS**

<b>I.</b>	<b>Materiales y utensilios para fabricar yogur en forma artesanal</b>	<b>22</b>
<b>II.</b>	<b>Dimensiones del tanque multiuso para 100 litros de yogur</b>	<b>47</b>
<b>III.</b>	<b>Cuadro de clasificación de los grupos lactobacilos</b>	<b>99</b>
<b>IV.</b>	<b>Maquinaria y equipo de una planta industrial que produce una tonelada de yogur por día</b>	<b>103</b>
<b>V.</b>	<b>Requerimiento de mano de obra para producción industrial de yogur</b>	<b>104</b>

## GLOSARIO

- Ácido láctico:** Es un conocido compuesto químico que juega importantes roles en diversos procesos bioquímicos, como la fermentación láctica, su nomenclatura oficial es *ácido 2-hidroxi-propanoico* o *ácido  $\alpha$ -hidroxi-propanoico*, es. El ácido láctico existe como indicios en la leche fresca, con un porcentaje medio de 30 mg/l. Tiene excelentes propiedades conservantes de los alimentos.
- Aditivos:** Es una sustancia que se utiliza en pequeñas cantidades para cambiar las propiedades de otra. Para el caso del yogur los aditivos usados se clasifican de acuerdo a la función en: Emulsificantes y estabilizantes; colorantes y saborizantes; finalmente los preservantes.
- Artesanal:** El término comprende, básicamente, obras y trabajos realizados manualmente y con poca intervención de maquinaria, que se realiza en talleres individuales o de pocas personas, con escasa capacidad para llegar al mercado.

**Bacteria ácido láctica:** Conocidas como BAL, son un grupo grande de bacterias con la característica común de producir ácido láctico como el principal producto final del metabolismo; se encuentran en la leche y en otros ambientes naturales. En la fabricación de yogur se utilizan las homofermentativas *Lb. bulgaricus*, *St. Thermophilu* y *Lb. acidophilus* que producen de un 70-90% de ácido láctico. Como probióticos se usan las bacterias heterofermentativas *Lb. casei*, *Bífidobacterias* que producen al menos un 50% de ácido láctico más otros compuestos tales como el ácido acético, CO<sub>2</sub> y etanol.

**Caseína:** Su nombre proviene del latín *caseus* que significa "queso", es una proteína de la leche, del tipo fosfoproteína, que se separa de la leche por acidificación y forma una masa blanca. Representa cerca del 77% al 82% de las proteínas de la leche.

**Coagulación:** Es un fenómeno por el que se efectúa la transformación de la fase líquida en la fase sólida, en el yogur se produce por la desnaturalización de la caseína.

**Cultivo bacteriano:** Es un procedimiento destinado a multiplicar microorganismos para su estudio o utilización industrial.

- Fermentación:** Proceso catabólico de oxidación incompleto, de un compuesto orgánico siendo el producto final otro compuesto orgánico. Estos productos finales son los que caracterizan los diversos tipos de fermentaciones. Son propias de los microorganismos, como las bacterias y levaduras.
- Fermentación láctica:** Se llama así al proceso celular donde se utiliza glucosa para obtener energía y donde uno de los productos metabólicos es el ácido láctico. Las bacterias ácido lácticas, al desarrollarse utilizan la lactosa (azúcar de leche) como fuente de energía. La lactosa, al fermentar, produce energía que es aprovechada por las bacterias generando ácido láctico que es eliminado.
- Homogenización:** El proceso físico destinado a romper el glóbulo de grasa en suspensión, en minúsculas partículas de grasa. De esta manera, la grasa no tenderá a subir a la superficie del líquido y quedará dispersa por todo él.
- Incubación:** Condiciones ambientales que suceden durante el período de crecimiento y reproducción bacteriano. En la fabricación de yogur es el período en el cual se produce la fermentación de la leche.

**Lactobacilos:**

Grupo de bacterias ácido lácticas, tipo bacilo microaerófilos, gram positivos y catalasa negativos, forman ácido láctico como producto principal de la fermentación de los azúcares. Normalmente son benignas e incluso necesarias, habitan en el cuerpo humano y en el de otros animales. Los lactobacilos homofermentativos *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* son los utilizados en la fabricación de yogur.

**Lactosa:**

Es el compuesto disacárido formado por la unión de una glucosa y una galactosa. Concretamente intervienen una  $\beta$ -*lactopiranos*a y una  $\alpha$ -*glucopiranos*a. Su fórmula es:  $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$  con un peso molecular de 360,32 g/mol. A la lactosa se le llama también azúcar de la leche ya que aparece en la leche de las hembras de los mamíferos en una proporción del 4-5%.

**Leche:**

Líquido nutritivo de color blanquecino, producido por las hembras de los mamíferos; su principal función es alimentar a los hijos hasta que sean capaces de digerir otros alimentos. Es un producto de consumo corriente en la mayoría de las civilizaciones humanas; la leche de vaca es la base de numerosos productos, como la mantequilla, el queso o el yogur. La leche está compuesta principalmente por agua, materia grasa, proteínas (caseína), hidratos de carbono (lactosa) y calcio.

**Organolépticas:**

*Cualidades organolépticas* son el conjunto de descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, como por ejemplo su sabor, textura, olor color . En el yogur todas estas sensaciones producen al verlo, olerlo y comerlo una experiencia agradable o desagradable.

**Probiótico:**

Su nombre significa "*el que promueve la vida*", es aquel que contiene microorganismos vivos presentes en un alimento que permanecen activos en el intestino y ejercen importantes efectos fisiológicos. Ingeridos en cantidades suficientes tienen efecto muy beneficioso; son capaces de atravesar el tubo digestivo, recuperarse vivos en las heces y adherirse a la mucosa intestinal. No son patógenos.

**Punto isoeléctrico:**

Es cuando el pH de una sustancia anfótera tiene carga neta cero y el movimiento neto de las moléculas de soluto en un campo eléctrico es prácticamente nulo. A este valor la solubilidad de la sustancia es casi nula, las proteínas se combinan con los iones hidrógeno, dando lugar a la carga neta de la molécula.

**Simbiosis:**

Es un tipo de interacción biológica entre dos o más organismos de distinta especie en la que la asociación es ventajosa, o a menudo necesaria para uno o ambos y no es dañina para ninguno de los dos, se les denomina simbiosis.

- Sinéresis:** Es la separación en fases de los diversos componentes del yogur, debido a la contaminación o errores en el proceso.
- Tecnificación:** Es la implementación de una tecnología superior para aplicarla en un proceso; implicando mayor confiabilidad, mayor acoplamiento de los elementos, menor dependencia del contexto, y más eficiencia en el control.
- Yogur:** El producto lácteo que se obtiene mediante la fermentación de ciertas bacterias en la leche. También es conocido como yogur, yoghurt o yoghourt; la fermentación de la lactosa (el azúcar de la leche) en ácido láctico es lo que da al yogur su textura y sabor tan distintivo.



## RESUMEN

Este trabajo de graduación propone la tecnificación de la elaboración artesanal de yogur probiótico. Para iniciar con esta propuesta, se deben conocer los antecedentes que rodean al proceso; primero definiendo lo que es realmente un yogur, cómo se clasifica y las características que tiene que tener para ser considerado probiótico.

Luego se indican los procesos principales que se llevan a cabo en la elaboración de yogur, las bacterias por las que se origina, su efecto en la leche y sus consecuencias que al final resultan en el producto final. Como parte importante de la tecnificación es conocer el proceso actual de elaboración, por eso se explica detalladamente cómo se realiza para dar a conocer sus ventajas, pero también sus limitaciones y las posibilidades de mejorarlo. Asimismo se debe conocer el equipo empleado y el tipo de proceso en la industria para fomentar el crecimiento bacteriano, y la forma en que se comporta las bacterias en él.

Al tener un sistema de transferencia de calor eficaz, con un agente de transferencia adecuado; se pueden integrar a un equipo adecuado para elaborar yogur a pequeña escala, como lo es un biorreactor. Este biorreactor tiene que tener ciertas características que lo hagan funcional para el proceso; además se seleccionan sus dimensiones de manera que el volumen de trabajo se mantenga a un nivel artesanal, es decir a pequeña escala, y que sea funcional para su operación.

A este biorreactor se le pueden realizar mejoras y acoplar otros equipos para que sea más apropiado en la fabricación de yogur. Se consideran cada uno de los equipos y accesorios que se pueden adaptar al tanque, para entender cómo sus características permiten mejorar el proceso haciéndolo más eficiente.

Cuando se ha definido el equipo y la maquinaria que producirá mejores resultados para la elaboración artesanal de yogur, se procede a adaptar el proceso actual al nuevo equipo, manteniendo las ventajas pero reduciendo las desventajas.

Para tecnificar el proceso se debe de delimitar las variables de operación, establecer la secuencia de las etapas de elaboración indicando su inicio y final, seleccionar los puntos de control para monitorear el proceso, indicar el funcionamiento del equipo durante el proceso y el flujo de los diferentes subsistemas y finalmente, pero muy importante, establecer el procedimiento estándar de operación que reducirá las fallas y errores.

Al realizar correctamente la tecnificación de la elaboración artesanal de yogur probiótico se obtendría un mayor nivel de producción por lote, un producto final con calidad garantizada y apto para su consumo.

# OBJETIVOS

## GENERAL

Proponer la tecnificación del proceso de elaboración de yogur enriquecido con probióticos *Lb. acidophilus* y *bífidobacteria*, que opere con base a las condiciones que rigen el proceso a nivel artesanal; y permita lograr un aumento en el nivel de producción, mantener las mismas características organolépticas del producto final y asegurar una calidad uniforme.

## ESPECÍFICOS

1. Encontrar las condiciones de elaboración que son aplicables al proceso tecnificado y los cambios necesarios para aumentar el volumen de producción con un funcionamiento óptimo.
2. Proponer las características de flujo, operación y diseño necesarias para la operación bajo la nueva propuesta técnica.

3. Fijar los diferentes parámetros de control para el proceso de fermentación de yogur con el equipo tecnificado propuesto; para la creación de un lazo de control.
  
4. Determinar un procedimiento de operación estándar (POE) que permita llevar a cabo la elaboración de yogur probiótico en el equipo propuesto.
  
5. Establecer el equipo auxiliar de subsistemas necesarios para llevar a cabo adecuadamente el proceso de elaboración de yogur, como sistema de calentamiento, sistema de enfriamiento, agitación y descarga.

# INTRODUCCIÓN

El yogur probiótico por sus características de facilitar la digestión y ayudar en el proceso de intolerancia a la lactosa, y como por su proceso de elaboración de forma artesanal carece de aditivos no lácteos, conservantes ni colorantes artificiales; lo cual le diferencia de las marcas comerciales que existen en el mercado. Ha creado por parte de personas que desean cuidar de su salud, un aumento en la demanda que abre nuevas posibilidades de comercialización.

Al carecer de la tecnología específica, el procedimiento artesanal utilizado actualmente por pequeñas empresas, en la elaboración del yogur probiótico no tiene un sistema adecuado de control que asegure la calidad en el producto final. Asimismo con el equipo utilizado actualmente no se logra producir volúmenes grandes de yogur, dificultando el satisfacer la demanda.

Por estas razones, se advierte que para tener más oportunidades de comercialización, se necesita poseer un equipo que permita llevar a cabo una pasteurización adecuada de la materia prima; una fermentación con mejores condiciones de operación y control; y finalmente un mezclado perfecto del producto con los saborizantes. A la par se debe optimizar el aprovechamiento de la energía suministrada, utilizando un sistema más adecuado para el tratamiento térmico de la leche.

Igualmente tiene que implementarse un nuevo proceso de elaboración que cuente con una secuencia lógica y exacta de etapas y con procedimientos de control efectivo; para que garantizar las características organolépticas del yogur como producto final, optimizar el uso de energía en la pasteurización y fermentación adecuadas de la leche, y principalmente aumentar el nivel de producción hasta una cantidad suficiente que permita satisfacer la demanda actual y futura con un producto de alta calidad.

El propósito de este trabajo es buscar, examinar y proponer el equipo adecuado como un tanque usado como biorreactor y el sistema de tratamiento térmico eficiente, así como el proceso apropiado, controlado y eficaz de elaboración de yogur a pequeña escala.

La propuesta hecha en este trabajo, se recomienda para se utilizada como guía para los productores de yogur en forma artesanal que deseen mejorar su producción; pero también por los productores de leche para aprovechar los excedentes de su producción. Asimismo el material expuesto puede servir como referencia para otros estudios.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Generalidades

### 1.1.1 Definición y composición

También conocido como *yogurt*, *yoghurt* o *yoghourt*, aunque estas son grafías incorrectas en castellano, según la **RAE**. La **FAO/OMS** de acuerdo al **Codex Alimentarius** define al yogur como “una leche coagulada obtenida por fermentación ácido láctica, producida por *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, bajo condiciones definidas de tiempo y temperatura usando como base la leche pasteurizada con o sin aditivos; donde los microorganismos presentes en el producto final deben ser viables y abundantes”. (Ref. 1)

El yogur se produce por la acción controlada de las bacterias ácido lácticas sobre la lactosa que se transforma en ácido láctico; y por consiguiente sobre las proteínas. La incorporación de estos microorganismos garantiza la producción de características agradables y beneficiosas en la leche, ya que prolongan la vida útil, entregan un producto de sabor y consistencia agradable; además de contribuir a la buena salud de las personas que los consumen habitualmente. (Ref. 2)

Durante muchos siglos, el yogur fue comida propia de India, Asia Central, Sudeste Asiático, Europa Central y del Este: hasta que en 1900, el biólogo ruso **Ilya Ilyich Mechnikov** expuso su teoría del consumo del yogur.

Propuso que la inusual alta esperanza de vida de los campesinos búlgaros, se debía a que ingerían grandes cantidades de yogur; considerando que las bacterias ácido lácticas eran esenciales para una buena salud, Mechnikov trabajó para popularizar el yogur por toda Europa.

Le correspondió a **Isaac Carasso** el industrializar la producción de yogur, iniciando en 1919 una planta de producción de yogur. (Ref 3)

Generalmente, la composición de un yogur es 80.35% de humedad, proteína bruta 3.50%, 2.54% de extracto etéreo, carbohidratos 12.69%, 0.1% de fibra bruta, 0.82% de cenizas, calcio 12.913%, cobre 0.04%, zinc 0.04%, hierro 0.023%, magnesio 0.03%, potasio 1.078 %, sodio 15%, 4.38% de vitamina A (equivalentes en 1.5% de retinol), 0.07% de ácido ascórbico, 0.04% de riboflavina y 0.10% de niacina. El aporte energético del yogur regular es de 87.1 kcal por cada 100g. Además de la leche fermentada con cultivos lácteos, el yogur puede contener otros ingredientes tales como sólidos lácteos, azúcares, frutas, algunos tipos de yogur contienen unos cultivos especiales llamados probióticos. (Ref. 4)

### **1.1.2 Clasificación**

El yogur puede clasificarse en distintas categorías, que se subdividen atendiendo a: (Ref. 5)

**A. Las normas legales existentes:** Se basan en la composición química; porcentajes de grasa, extracto seco magro (EMS), y extracto seco total (ES).

**B. De acuerdo a FAO/WHO:** Puede clasificarse por el contenido graso de la leche con que se elabora. Se denomina entero si tiene más del 3% de grasa, medio o semi-desgrasado cuando el contenido graso va del 3% al 0.5%, bajo o desgrasado cuando el contenido es menor al 0.5%.

**C. Según el método de elaboración y la forma del coágulo:** Cuando la fermentación de la leche se produce en el mismo tarro cerrado donde se va a consumir es el denominado yogur aflanado, estático o tradicional; que tiene consistencia firme y el coágulo es una masa continua y semisólida.



El yogur batido se produce si la fermentación de la leche se produce en un tanque y se agita para romper el coágulo antes de enfriarse y envasarse; para lograr una consistencia untuosa. El yogur líquido o bebible es un yogur batido, el cual se agita fuertemente o se tamiza hasta que se reduce la viscosidad al ser mezclado con agua y con el 11% de extracto seco; para obtener una consistencia muy fluida.

**D. Por la incorporación de aromas:** Los yogures pueden ser según su sabor el natural, blanco o simple que es del tradicional sabor ácido neutro; el de frutas sazonados ya sea con mermeladas, frutas naturales y azúcar; finalmente los aromatizados en los que se usan edulcorantes sabores, aromas y colores artificiales.

## **1.2 Bacterias en el yogur**

### **1.2.1 Bacterias ácido lácticas**

De acuerdo a la definición del **Códex Alimentario** el yogur es el resultado de la leche que ha sido fermentada por *Lb. bulgaricus* y *S.thermophilus*, ambos de los cuales son bacterias ácido lácticas, termófilas y homofermentativas. Las bacterias ácido lácticas (BAL) son un grupo grande de bacterias con la característica común de producir ácido láctico como el principal producto final del metabolismo.

Las BAL se reproducen en la leche bajo condiciones establecidas para obtener yogur, que como producto final que contenga 100-1000 millones de bacterias vivas referida como c.f.u (unidades formadoras de colonias por mililitro); es aceptable que este nivel decaiga a un factor de 10- 100 millones por almacenamiento.

Un yogur típico tiene un pH de 3.9- 4.3 y un 20-30% de lactosa convertida en ácido láctico. La selección de diferentes clases de cepas y las condiciones de proceso son las responsables de las características que hacen diferente al producto final; además para obtener un yogur probiótico se debe añadir al cultivo bacteriano otras BAL como *Lb. acidophilus* y bífido bacteria.

A la relación simbiótica entre *S. thermophilus* y *Lb. bulgaricus* se le conoce como "protocooperación" que acorta el tiempo de fermentación y da un producto de con características diferentes que el producto fermentado con una sola de las especies.

El metabolismo de las BAL lleva hacia un producto seguro, con una conservación mejorada por los metabolitos de las BAL que contribuyen a la extensión de la vida de anaquel; el pH resultante previene el crecimiento de de bacterias perjudiciales y la competencia de otras bacterias por los nutrientes.

En la producción de yogur se habla de los cultivos iniciadores, el cual se refiere a los BAL específicos que se usan para inocular la leche y cuyo metabolismo conduce a las características del producto final. Hay dos tipos de cultivos iniciadores, el primer método tradicional contiene mezclas complejas y poco definidas de cepas bacterianas; el segundo tipo es llamado cultivo definido o seleccionado, contiene una o más cepas puras con propiedades específicas conocidas.

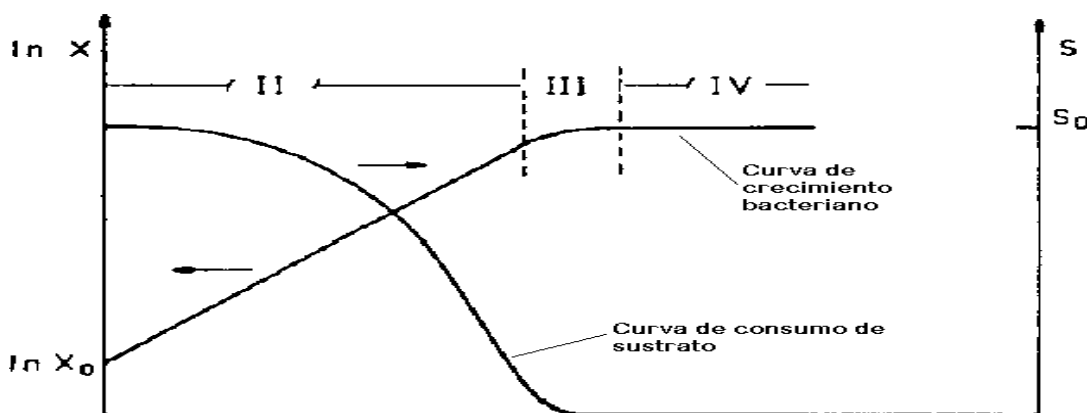
Criterios específicos para la selección de cultivos, incluyen el índice de producción de ácido de las BAL, su capacidad para la producción de polisacáridos, el límite de proteólisis (que a veces da compuestos amargos) y su nivel producción de compuestos que proporcionan aroma y sabor.

Otro de los criterios de selección para el cultivo iniciador se basa en la habilidad de la BAL de incrementar el valor nutricional y fisiológico de la comida para obtener otras propiedades saludables. Como la adición de *Lb. acidophilus*, bifidobacterias, o *Lb. casei* que son incluidos en el cultivo iniciador por su efecto probiótico en el organismo; el ácido láctico es también el que confiere a la leche fermentada ese sabor ligeramente ácido. Los elementos derivados de las BAL producen a menudo otros sabores o aromas característicos, el acetaldehído, por ejemplo, da al yogur su aroma característico.

### 1.2.2 Crecimiento bacteriano

Es muy importante conocer el comportamiento del crecimiento microbiano, ya que esto contribuye a la solución de varios problemas que se presentan durante la fermentación de la leche. Las poblaciones microbianas muestran un patrón de crecimiento característico donde el número de células se duplica por unidad de tiempo, al que se llama "Crecimiento exponencial", que puede representarse por una curva completa de crecimiento (Figura 1) de cualquier población bacteriana, la cual se puede dividir en las siguientes fases:

Figura 1 Curva de crecimiento bacteriano en un cultivo tipo batch



Batch. Curva de crecimiento y consumo de sustrato. II = fase exponencial; III = fase de desaceleración; IV = fase estacionaria.

Fuente: Microbiología industrial documento PDF en [www.biologia.edu.ar](http://www.biologia.edu.ar)

**A. Fase Lag o de adaptación:** Su duración depende del medio del que proviene la cepa, las condiciones del medio y del estado de desarrollo de la población microbiana. En esta fase, se presenta un incremento en el tamaño y en la actividad celular, provocando con esto un aumento en la síntesis de macromoléculas.

**B. Fase Exponencial:** Las células se duplican en número y en masa cada vez que transcurre un cierto tiempo; la velocidad del crecimiento es exponencial y depende de las características genéticas del microorganismo y de las condiciones y medio de cultivo; manteniéndose constante durante esta fase. Mientras menor sea la pendiente en esta fase mayor será el tiempo de generación, debido a que durante el crecimiento exponencial todos los constituyentes bioquímicos se están sintetizando más o menos a la misma velocidad. La fase exponencial no se puede mantener por mucho tiempo en un sistema o cultivo cerrado, pero es posible mantenerla indefinidamente en un sistema de cultivo continuo.

**C. Fase Estacionaria:** Esta etapa se presenta en un sistema cerrado y es debida principalmente a que un nutriente esencial del medio de cultivo se terminó o a que un producto de desecho del microorganismo en crecimiento es inhibitorio para él mismo; también se puede producir porque la población microbiana no puede seguir creciendo debido a que en el medio ya no existe espacio físico para que esto ocurra. En esta fase el número de microorganismos se mantiene más o menos constante.

**D. Fase de Muerte:** En esta fase la cuenta total de microorganismos puede permanecer constante, pero la cuenta viable disminuye, es decir que las bacterias empiezan a morir y disminuye la tasa de reproducción. Generalmente la muerte de una población microbiana ocurre en forma logarítmica.

## 1.3 Yogur probiótico

### 1.3.1 Definición de alimentos probióticos

Un yogur probiótico es aquel que también contiene suficiente cantidad de microorganismos viables que producirán beneficio más allá de los valores nutricionales al ser ingeridos porque afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo proporcionando un mejor estado de salud y bienestar y/o reducen el riesgo de enfermedad.

Los probióticos son microorganismos y sustancias que contribuye al equilibrio microbiano intestinal, para restituir la población del medio interno y proteger la integridad intestinal. Se trata de bacterias capaces de sobrevivir a través del tracto digestivo y que tienen un efecto beneficioso en la función intestinal y promueven la salud

El término probiótico deriva del griego *pro* y *bios*, que significan "**a favor de la vida**". Fue aceptado en 1998 por el **ILSI (*International Life Science Institute*)**, de la Unión Europea) en Bruselas. Un alimento probiótico es el que contiene microorganismos vivos presentes en un alimento que permanecen activos en el intestino y ejercen importantes efectos fisiológicos. (Ref. 6)

El yogur constituye uno de los principales vehículos para el aporte de probióticos; porque durante la fermentación de la leche, la lactosa se separa en dos componentes más simples glucosa y galactosa, con la producción de ácido láctico. Esta condición hace que el producto resulte más conveniente para quienes sufren de intolerancia a la leche, causada por la carencia de una enzima llamada lactasa, haciendo a estos alimentos de gran aceptación en los distintos grupos de población por su fácil digestión. (Ref. 7)

### 1.3.2 Bacterias probióticas

Para que un microorganismo sea considerado como un probiótico debe de cumplir con la función de protección, tiene que formar parte de la flora intestinal normal, tener un tiempo corto de reproducción, ser capaz de producir compuestos antimicrobianos y ser estable durante el proceso de producción, comercialización y distribución para que pueda estar vivo en el momento de ingerirse y llegar al intestino. (Ref. 8)

Se trata como probióticos, a las bacterias ácido lácticas integrantes de los géneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, y algunas cepas de *Streptococcus*. Para que se considere como alimento probiótico un yogur debe de contener aparte de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* alguno de estos otros grupos bacterianos en suficiente cantidad para que promuevan una actividad beneficiosa a nivel del intestino humano.

La mayoría de las bacterias mueren cuando atraviesan la pared gástrica; pero los probióticos, debido a su alto nivel de producción de ácido láctico, son capaces de sobrevivir una vez han atravesado el tracto gastrointestinal. Ellos interaccionan con la microflora y/o células de la mucosa intestinal, induciendo o modulando distintas actividades biológicas beneficiosas. (Ref. 9 y 10)

La protección que dan estas bacterias se lleva a cabo por la competencia por los nutrientes o los sitios de adhesión que impiden la multiplicación de los patógenos y la producción de toxinas lo que imposibilita su acción dañina. Y mediante esta modulación inmune protegen al huésped de las infecciones induciendo a un aumento de la producción inmunoglobulinas, ampliación de la activación de las células mononucleares y de los linfocitos (Ref. 11)

En el yogur, las proteínas del suero (*lactoalbúmina* y *lactoglobulina*) permanecen dentro del producto, mientras que la presencia simultánea de lactosa y ácido láctico permiten que los oligoelementos tales como calcio y fósforo, resulten más disponibles para ser asimilados y en mayor abundancia por la acción de los probióticos a nivel intestinal.

### **1.3.3 Bifidobacterias**

Otras bacterias probióticas son las bífidobacterias, que constituyen una de las pocas especies de bacterias predominantes en la microflora del colon a lo largo del ciclo de vida, y se asocian a un estado saludable en humanos. Las funciones de las bífidobacterias endógenas en el colon no se han dilucidado en su totalidad; pero sus beneficios son numerosos.

Cuando se utilizan para fermentar la leche, proporcionan diferentes perfiles de sabor en comparación con aquellos productos que contienen solamente BAL; porque no solamente producen ácido láctico sino también ácido acético, como uno de sus principales productos de fermentación. Además poseen ventajas probióticas potenciales, en particular efectos antimicrobianos, en la reducción del riesgo de contraer cáncer, y en el equilibrio de la microflora intestinal.

En general, las bífidobacterias son bastones Gram positivos y anaerobios estrictos, tienen necesidades nutricionales especiales y crecen lentamente en la leche. Muy pocas cepas se han adaptado lo suficientemente bien a la leche y pueden crecer en número suficiente como para sobrevivir durante la vida de anaquel de las leches fermentadas. Pero en los últimos años, estudios in vivo en adultos y en bebés han confirmado que algunas cepas de bífidobacterias son capaces de sobrevivir a su paso a través del tracto gastrointestinal, y también sobreviven más que algunas BAL.

A medida que los retos tecnológicos relacionados con su viabilidad y su enumeración están siendo superados, las leches fermentadas por estos microorganismos (solos o en combinación con BAL) tienen la capacidad de proporcionar productos consistentemente satisfactorios que contienen un gran número de microorganismos viables.

#### **1.3.4 Beneficios de la ingestión de yogur probiótico**

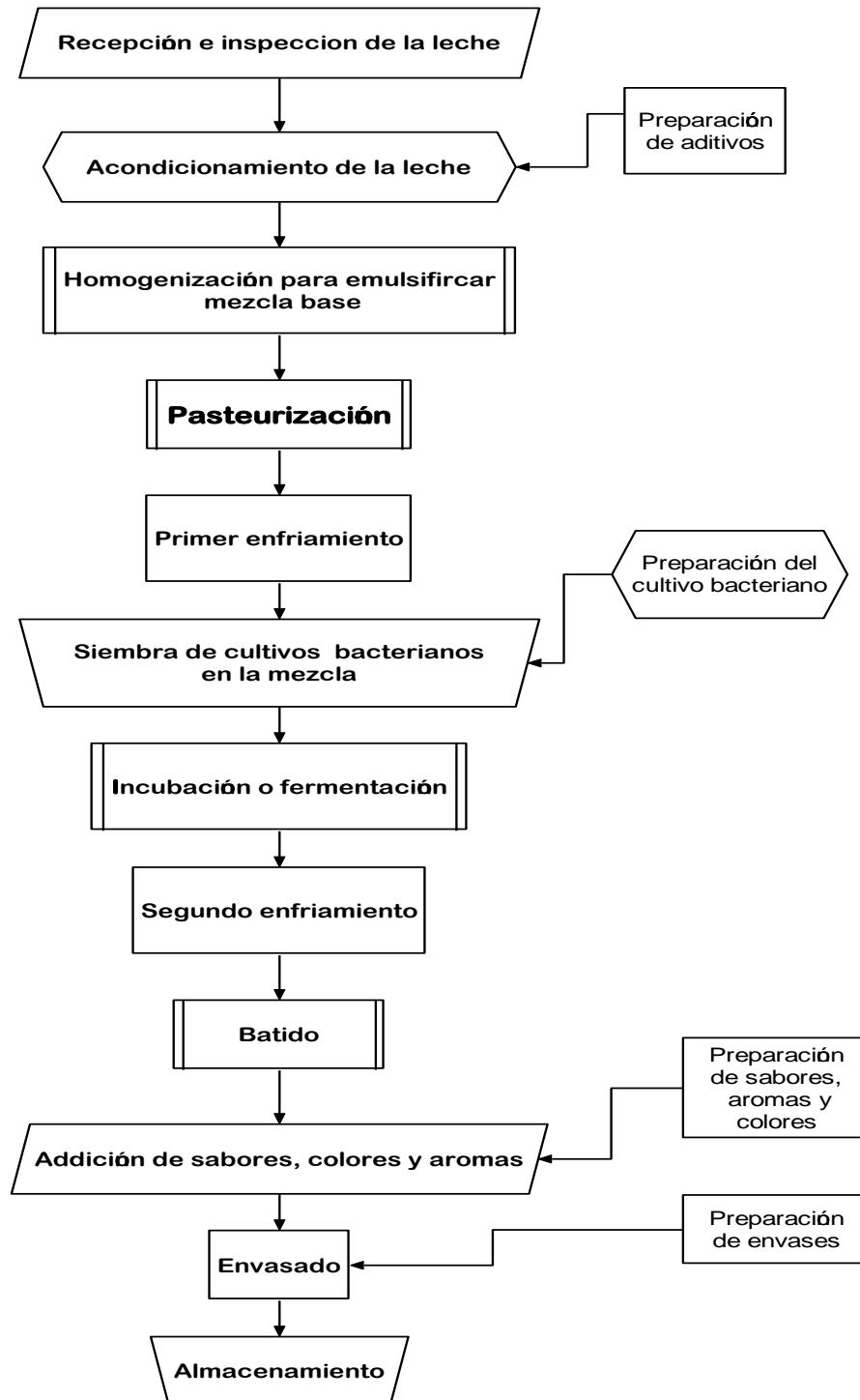
Los efectos de los probióticos son varios, porque modifican la flora intestinal evitando la colonización patógena, evitando su desequilibrio. (Ref.12) En la actualidad, todavía se desconocen muchos aspectos relativos a su mecanismo de acción; sin embargo, se reconoce su funcionalidad en:

- A.** Prevención y tratamiento de enfermedades infecciosas
- B.** Disminución de los niveles de colesterol.
- C.** Tratamiento de diarreas de origen bacteriano o viral.
- D.** Coadyuvante en el tratamiento de la intolerancia a la lactosa.
- E.** Estimulación del sistema inmune.
- F.** Formación de una flora intestinal balanceada.
- G.** Prevención de ciertas manifestaciones alérgicas
- H.** Prevención del cáncer de Colon
- I.** Tratamiento contra tumores
- J.** Promueven la producción de vitaminas como la B2, B6 y biotina.
- K.** Ayuda en la asimilación de oligoelementos.



## 1.4 Principales procesos en la fabricación de yogur

### 1.4.1 Diagrama de flujo de los procesos en la elaboración de yogur



### **1.4.2 Acondicionamiento de la leche**

En la producción de yogur se han utilizado diferentes tipos de leche, y en función de ello se diversifican las clases de yogur. Aunque sea del mismo tipo, la leche puede variar enormemente en su composición debido a diversos factores. Por ello, es necesario estandarizar la leche a manera de cumplir con las propiedades del yogur que indican las normas sanitarias y mantener siempre las mismas características organolépticas que desea el consumidor. (Ref. 13)

Primero se deben eliminar las impurezas macroscópicas de la leche, y el método físico más utilizado por la industria es la filtración. Luego se estandariza el contenido graso de la leche, para que se tenga el contenido deseado de leche. El contenido de extracto seco magro en la leche destinada a la elaboración de yogur (que incluye lactosa, proteínas y sales minerales) viene regulado por las normas legales, pero directamente por la necesidad de obtener un producto de determinadas propiedades físicas, sabor y aroma.

A fin de aumentar el contenido de sólidos en la leche, se puede concentrarla por calor, adicionar leche en polvo, agregar mazada (un subproducto de la mantequilla), añadir suero de leche en polvo, adición de caseína en polvo y concentración por la filtración de membranas.

Para que el coágulo del yogur mantenga la forma adecuada, después de que se somete al tratamiento mecánico y a la manipulación durante el almacenamiento y transporte; se le añaden estabilizantes a la mezcla inicial, porque mejoran y conservan las condiciones de textura, viscosidad, aspecto y cuerpo del yogur, durante períodos más largos de tiempo.

También para prolongar la vida de anaquel del yogur y facilitar sus condiciones de almacenamiento se puede añadir conservantes a la leche, para evitar el crecimiento de mohos y levaduras; pero no es aconsejable si se quiere mantener la naturaleza del yogur como producto de origen bacteriológico, pues se conserva bien si no se rompe la cadena de frío.

Actualmente existe una mayor demanda del yogur aromatizado, debido a que se atenúa la acidez del producto; que se logra añadiendo azúcar u otro edulcorante a la leche. Es aconsejable añadir el azúcar antes de proceder con el tratamiento térmico para destruir sus contaminantes y lograr su disolución, porque si se añade después de la fermentación puede presentar distribución heterogénea y disminución de la consistencia del producto.

### **1.4.3 Homogenización**

Consiste en formar una emulsión de dos líquidos inmiscibles, esto es grasa y agua, como lo es el yogur; pues la grasa tiende a separarse en una capa en el tanque de fermentación. Para prevenir esa separación, en lotes en los que por su tamaño se dificulta el volver a incorporar la grasa por simple agitación; la mezcla base de leche y aditivos es sometida a un proceso de mezclado a elevada velocidad u homogenización, es el proceso de romper la grasa en pequeñas partículas de tamaño, de tal forma que no se separen en el futuro de la masa de líquido. Esta operación se realiza sometiendo a la leche a gran presión (entre 150-300 bares) para que fluya por diminutos orificios (generalmente de diámetro de 10 a 30  $\mu\text{m}$ ). La estabilidad obtenida evita que la grasa se separe del resto de los componentes y ascienda a la superficie por su menor peso.

Los efectos de la homogenización son aumento de la viscosidad, color más blanco, mezcla correcta, formación de espuma, reducción de los glóbulos grasos, descenso en la estabilidad de las proteínas y del el sabor oxidado y la sinéresis. También la homogenización eleva la temperatura de la mezcla básica hasta los 40° C, facilitando la transferencia de calor en el tratamiento térmico. (Ref. 14)

#### **1.4.4 Pasteurización**

La leche debe ser tratada térmicamente para asegurar la reducción de carga bacteriana contaminante, asegurando así tan solo el desarrollo de los microorganismos propios del yogur; esto es su pasteurización y para realizarla existen diferentes métodos.

En la pasteurización se ha de calentar la leche de manera de no solo destruir bacterias indeseables, sino que también eliminar  $O_2$  creando condiciones adecuadas para el desarrollo de las bacterias; a través de la alteración de las proteínas del suero de la leche ( $\beta$ -*lactoglobulina*) lo que da un aumento en la firmeza y consistencia.

Además, el tratamiento térmico tiene como efecto producir un mejoramiento del medio nutritivo para las bacterias productoras del yogur; desnaturalizar las sustancias inhibidoras naturales (*lacteninas*), e inactivar las enzimas presentes en forma natural en la leche mejorando el aroma, sabor y digestibilidad; y evita también la separación del suero en el yogur cuando está almacenado.

Se ha comprobado que para la elaboración de yogur, el método que produce resultados óptimos es el calentar la leche a 90° C y mantener esta temperatura durante 10 minutos (pasteurización rápida ó VHTST).

Luego enfriándola inmediatamente hasta la temperatura de fermentación para producir un choque térmico, porque además de lograr una pasteurización total proporciona una mejor consistencia final. (Ref. 15)

#### **1.4.5 Siembra del cultivo**

Es la introducción del cultivo bacteriano iniciador dentro del medio de crecimiento para la reproducción de las bacterias, también se le llama inoculación porque al cultivo bacteriano que induce la fermentación se le conoce como inóculo; este es el proceso que marca el inicio de la fermentación. (Ref.16).

Para fermentar la leche se emplean las bacterias ácido lácticas *Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii Subs.* Una mezcla simbiótica de ellas logra una acidificación correcta de la leche, asegura la viabilidad de las bacterias en condiciones desfavorables, obtiene buena textura y evita sinéresis en el producto.

Por lo cual se debe tener la concentración adecuada de las bacterias en la siembra y esta va de una relación que varía desde 2:1 en el yogur natural hasta el 10:1 para el yogur con frutas, según las características que desea obtenerse. Esta relación simbiótica también eleva la obtención de ácido láctico, pues a pesar de que ambas BAL individualmente tienen un alto grado de producción de ácido láctico durante la fermentación; ésta es mayor cuando se emplean juntas que por separado.

La dependencia entre ambas bacterias se da inicialmente porque actividad proteolítica del *L. bulgaricus* estimula el crecimiento de del *S. thermophilus* por la liberación de aminoácidos y péptidos de la leche, que dan cuerpo y aroma al yogur. Mientras que la *S. thermophilus* es responsable de la acidez y sabor, pues en su turno produce ácido fórmico y dióxido de carbono, que estimulan el crecimiento del *L. bulgaricus*. (Ref. 17)

#### **1.4.6 Incubación**

Es la etapa cuando el cultivo de bacterias ácido lácticas se reproduce, dando lugar a la fermentación láctica; durante éste periodo las bacterias al reproducirse desarrollan acidez mediante la transformación de la lactosa en ácido láctico. Como consecuencia de la acidificación por las BAL, las proteínas de la leche como la caseína (80%), beta-lactoglobulina (10%), alfa-lactoglobulina (2%) y otras (8%), se coagulan y precipitan; luego estas proteínas pueden disociarse separando los aminoácidos, lo que mejora la digestibilidad de las leches fermentadas. (Ref.18)

La coagulación sucede durante la fermentación a causa de la estabilización de las caseínas; cuando por disminución del pH llegan a su punto isoeléctrico. Con un pH alrededor de 6.7 las caseínas tienen cargas negativas y se repelen entre si, por lo que se encuentran suspendidas en la leche. Al irse formando el ácido láctico, los iones de hidrógeno positivos son atraídos hacia las caseínas; reduciendo su carga negativa y la repulsión entre ellas, iniciando la coagulación de la leche; cuando se alcanza un pH de 4.6 las caseínas son eléctricamente neutras y completamente insolubles por tanto se precipitan formando el coágulo característico.

La actividad de los microorganismos y el tiempo de fermentación están determinados por la temperatura de incubación y la cantidad de inóculo agregado, una temperatura más baja y una menor cantidad de inóculo favorecen al crecimiento del *S. thermophilus* y viceversa. Para la fermentación de la leche, se debe elegir una temperatura de incubación más próxima a la del desarrollo de *S. thermophilus* (42° a 45° C), que la del *L. bulgaricus* (47° a 50° C); pues en este rango de temperatura sucede la relación simbiótica óptima del cultivo.

Pues es mejor que *S. thermophilus* sean los que aseguren el comienzo de la fermentación láctica, porque el *Streptococcus* es responsable de la caída inicial del pH hasta 5.0 aproximadamente; mientras el *Lactobacillus* causa el descenso del pH hasta 4.0.

La fermentación de la leche para obtener yogur normalmente culmina cuando se alcanza un valor de 4.2 a 4.5 de pH aproximadamente, un valor de alrededor de 0.75-0.8 % de acidez titulable y una viscosidad superior a los 8500 centipoises. También en el yogur existen en pequeñas trazas varios subproductos de la reacción de fermentación; el acetaldehído, acetoína, diacetilo y etanol que son los compuestos responsables del aroma típico del yogur.

#### **1.4.7 Segundo enfriamiento**

Cuando culmina el período de fermentación, el yogur ya ha adquirido el grueso de sus características nutricionales y organolépticas, a saber, una población de bacterias de al menos  $10^8$  bacterias lácticas/g y una concentración de ácido láctico de entre 7 a 12 g/l.

En ese preciso momento se da inicio a la cadena de frío: la temperatura se disminuye rápidamente a 20° C para detener la fermentación y evitar la sobre acidificación; en esta etapa se realiza el batido, la adicción de los aromatizantes y el envasado. Si se envasa a temperaturas más bajas se destruyen las estructuras de las proteínas, y no es posible conformarla otra vez a las temperaturas de almacenamiento (Ref.19).

El enfriamiento del producto da también una mejor estabilidad por el restablecimiento de la estructura de las proteínas porque las proteínas absorben más agua a bajas temperaturas.

En la cadena de frío se producen distintos **galactooligosacáridos**, cuya concentración aumenta paulatinamente hasta superar el contenido de glucosa; éstos contribuyen a conferirle al yogur su textura característica, siendo ésta otra de las razones de importancia de la temperatura de almacenamiento.

Luego, de que el producto se ha envasado; se enfría nuevamente hasta una temperatura de 5° C de ahí en adelante, el producto debe mantenerse a ese nivel durante su almacenamiento hasta la fecha límite de consumo, con el fin de conservar todas sus características y mantener vivas las bacterias y probióticos.

En efecto, a esa temperatura, la actividad de las bacterias lácticas se reduce considerablemente, ya que se aminora su ritmo de vida y su cantidad permanece estable; cualquier interrupción de la cadena de frío podría provocar un aumento de la actividad de las bacterias, cuya consecuencia sería una modificación del sabor del yogur o de su consistencia (decantación, aparición de suero láctico); o podría causar un descenso en la cantidad de probióticos.



#### **1.4.8 Consideraciones para evitar la contaminación en el yogur**

Durante la elaboración de yogur, ya sea industrial o artesanal, se debe tener sumo cuidado con los procedimientos higiénicos de elaboración, ya que si no se respetan reglas básicas de higiene se puede alterar notablemente el producto final, sobre sus características organolépticas y lo más importante sobre la inocuidad del producto, transformándolo incluso en un alimento peligroso para el consumo. Debe informarse sobre la reglamentación sanitaria vigente, porque es responsabilidad del productor entregar un producto seguro, libre de contaminación y sin deterioro (Ref.20).

Quienes manipulan la leche durante la producción, para evitar la contaminación deben mantener las condiciones higiénicas necesarias para preservar la inocuidad del producto final. Por ello los operarios deberán estar en un buen estado de salud; llevar ropa limpia, tapabocas, gabacha o batas y gorras; usar siempre guantes durante la manipulación (cambiándolos constantemente si es necesario) y observar estrictas medidas de higiene en todo momento, aplicando buenas prácticas de manufactura durante todo el proceso. (Ref. 21).

También para evitar la contaminación todo el equipo y utensilios siempre deben ser lavados cuidadosamente, desinfectados y esterilizados. La esterilización se consigue colocando los utensilios en agua hirviendo a 100° C durante diez minutos, o enjuagándolos en una solución desinfectante adecuada; así mismo se puede lograr la esterilización de los equipos con el uso de vapor de agua.

Para elaborar productos lácteos se requiere contar con materia prima de buena calidad, para fabricar yogur se utiliza leche fresca, pura, limpia, y proveniente de animales sanos sin presencia de antibióticos porque impedirán el desarrollo de los microorganismos del cultivo láctico.

Deberá tener características propias de la leche del animal de origen en lo referente a color y olor estar libre de contaminantes que podrían afectar la calidad del producto final ya que, por su naturaleza, la leche puede representar un riesgo mayor para la salud que muchos otros alimentos (Ref.22).

Se debe asegurar primero que el proveedor tenga estrictas medidas sanitarias durante el ordeño hasta la entrega. Además, se debe implantar un sistema de control de calidad de la materia prima para asegurar la pureza de la leche, de manera de controlar carga microbiana, presencia de antibióticos, acidez, etc., a manera de garantizar el consumo seguro del producto.

## **2. PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN ARTESANAL DEL YOGUR**

### **2.1 Generalidades en la elaboración artesanal de yogur**

#### **2.1.1 Justificación de la elaboración artesanal de yogur**

En 1993, **Stefanie Böge** publicó en Alemania un estudio, sobre la intensidad de transporte del yogur de frutilla y sus materias primas; Böge calculó que para cada bote de yogur comercial que llegaba a la mesa del consumidor había casi cuatro mil kilómetros recorridos, entre el transporte de todos los materiales y la distribución del producto final. Con ello quiso demostrar que existen costes que pudieran ahorrarse si se incentiva la producción local, siendo la elaboración artesanal de yogur una actividad sustentable y rentable para el abastecimiento del mercado local. El informe de Stefanie Böge tuvo una gran repercusión en todo el mundo porque demostró que la fabricación centralizada de algunas mercancías tiene costos que podrían reducirse mediante su producción local (Ref.23).

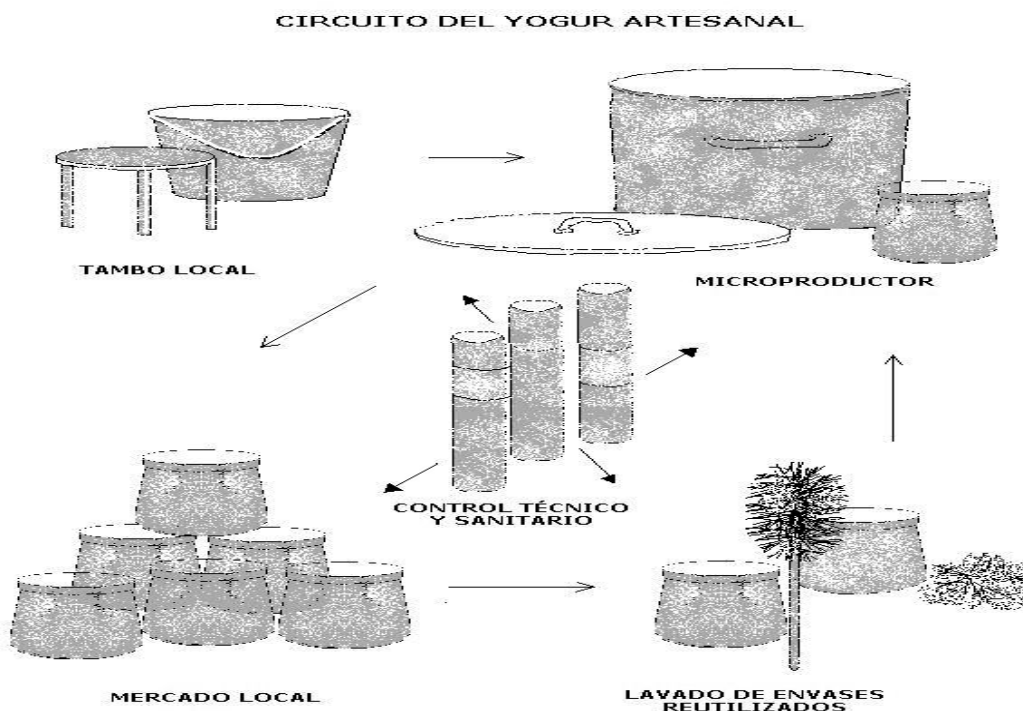
En los países en vías de desarrollo el procesamiento de productos lácteos en unidades familiares es de poco volumen. A pesar de estas limitaciones se han logrado desarrollar, por ensayo y error, procesos y técnicas que, teniendo en consideración las condiciones existentes, han derivado en productos seguros y de calidad aceptable.

La producción de yogur de manera eficiente a pequeña escala es competitiva, puesto que sus costos de producción son semejantes, o aún menores, a los de las empresas comerciales intensivas. Ésta representa un ingreso diario en efectivo lo que permite cubrir los gastos cotidianos y proyectar inversiones; además es una actividad accesible a un amplio sector de la población, ofreciendo beneficios inmediatos. Por otra parte la producción artesanal de yogur, a diferencia de otras actividades, no genera dependencia de intermediarios.

### 2.1.2 Materia prima y materiales en la fabricación artesanal

En la figura 2 se ilustra el circuito básico de la producción artesanal de yogur y en la tabla 2.1 se listan los materiales y el equipo básico que es necesario para poder elaborar el yogur a pequeña escala.

**Figura 2 Circuito de producción artesanal de yogur**



Fuente: <http://tabloide.euofull.com/shop/detallenot.asp?notid=276>

**Tabla I Materiales y utensilios necesarios para fabricar yogur en forma artesanal**

<b>Cantidad</b>	<b>Materiales y equipo</b>	<b>Características</b>
Cantidad necesaria	Cultivos lácteos estárter para yogur o yogur natural.	Es el cultivo necesario para iniciar la fermentación de yogur.
Al gusto	Azúcar.	Blanca, sin impurezas.
Al gusto	Pulpa de fruta o mermelada.	Limpia, cortada en pequeños trozos.
Cantidad necesaria	Leche en polvo o gelatina natural.	
1	Refrigerador.	Que mantenga estable la temperatura.
1	Estufa.	Limpia y amplia.
1	Incubadora: Una incubadora casera puede confeccionarse con la ayuda de un cajón recubierto y una bombilla, que logren mantener una temperatura constante de 40° a 45° C.	
2	Medidores de litro.	Para la materia prima.
3	Medidor de cucharas.	Exactos.
Cantidad necesaria	Recipientes medidores.	De diferente capacidades para envasar, limpios.
2	Agitadores.	De plástico ó acero inoxidable.
3	Ollas.	Acero inoxidable con tapa, una para contener 20 litros de leche fresca y las otras de menor tamaño
1	Cuchillo.	Limpio de mango plástico con filo.
Cantidad necesaria	Envases	Con tapa hermética, de preferencia plásticos.
1	Termómetro.	Mínimo de 100°C.
1	Parrilla.	Para aguantar el peso del Baño María de la materia prima.
2	Tinas galvanizadas.	Grandes, una para introducir el baño María de la leche y la otra para desinfectar utensilios.
2	Cucharones de acero o aluminio.	Grande y mediana, para mover la mezcla.
1	Cronómetro.	Digital y con alarma.
1	Cedazo o manta.	Para colar la leche, limpio y grande.
1	Balanza	Para pesar los materiales secos.

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/alimentos/yogur/elaboracion#formulacion>

## 2.2 Proceso artesanal de elaboración

### 2.2.1 Recepción de la leche y control de calidad

La leche debe ser fresca de manera de no alterar las condiciones debido a un aumento de la acidez de la leche por acción microbiana y no se debe emplear leche de animales con tratamiento de antibióticos, porque evitarán el crecimiento bacteriano.

La leche se recibe y se filtra (si no se dispone de un filtro puede pasarse por un paño limpio), de manera de retener sólidos o

materias extrañas que pueden estar presentes. La figura 3 ilustra la forma de filtrar la leche con un filtro manual como el usado en las lecherías.

**Figura 3. Filtrado de la leche**



Fuente:  
[www.tuiripana.org.co/leche.htm](http://www.tuiripana.org.co/leche.htm)

### 2.2.2 Acondicionamiento de la leche

A fin de obtener un yogur más consistente, se aumenta la cantidad de sólidos totales añadiendo leche en polvo o gelatina natural pero sin exceder el 2 % del total del volumen de leche fluida. Para evitar la formación de grumos debe incorporarse lentamente y agitando bien; es más fácil cuando se realiza al inicio del calentamiento de la leche durante la pasteurización. También en esta etapa se añade el azúcar o edulcorante, teniendo cuidado de que se disuelva bien, puede agregarse desde un total de azúcar equivalente al 2% del volumen sin excederse de un 10%. La figura 4 muestra como se agregan la leche en polvo y el azúcar al yogur; la leche en polvo se disuelve primero en parte de la leche y luego se agrega con agitación; el azúcar se incorpora con cuidado en pequeñas cantidades.

**Figura 4 Acondicionamiento de leche**



Fuente: Documento PDF Elaboración de Yogurt Batido con Fresas en <http://intranet.senati.edu.pe>

### **2.2.3 Pasteurización**

Se debe calentar la leche con agitación constante para que no se adhiera en el fondo de la olla. El calentamiento se puede realizar a 80° C por 30 minutos (pasteurización lenta), pero es preferible hacerlo a 90° C por 10 minutos (pasteurización rápida). La figura 5 muestra como se realiza el tratamiento térmico, utilizando una estufa de resistencia eléctrica y el agitador adecuado.

**Figura 5 Tratamiento térmico de la leche**



Fuente Ibíd.

#### 2.2.4 Primer enfriamiento

La leche debe ser enfriada luego de la pasteurización para crear un choque térmico y eliminar las bacterias; se realiza colocando el recipiente en un baño maría de agua con hielo o refrigerando la mezcla para que suceda más rápidamente. Debe de enfriarse hasta una temperatura entre 42 – 45° C, por ser la adecuada para iniciar el proceso de fermentación.

#### 2.2.5 Inoculación o siembra con cultivos bacterianos

La leche se inocula o siembra con las cepas de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, que se preparan y dosifican según lo indicado por el proveedor de los cultivos, aquí también se añaden los probióticos elegidos para enriquecer el yogur. La temperatura a la que se debe trabajar es de 42° C. Otra manera de inocular la leche es utilizar un vaso de yogur natural de un lote anterior, incorporándolo en una cantidad igual al 3 % del volumen total de la leche, entre 40-45° C, agitar bien para distribuir uniformemente los microorganismos. Si se desea utilizar leche de soya se deberá utilizar el doble de cultivos bacterianos para que se realice la fermentación; en la figura 6 muestra como se prepara el cultivo.

**Figura 6 Preparación de cultivo liofilizado y su inoculación en la leche**



Fuente: Ibíd.



### **2.2.6 Incubación de los cultivos bacterianos**

Por un tiempo entre 2,5 a 3 horas se debe mantener la mezcla a la temperatura de siembra, 42 – 45° C, con el objetivo de que los microorganismos se desarrollen y produzcan las características deseadas en la leche; el punto final de la incubación se producirá cuando el producto alcance una acidez de 0.65%. Si no se cuenta con instrumentos para medir acidez, el término de la incubación lo determinara la persona que elabora el yogur, con un examen visual, ya que el yogur formara un gel compacto, que al moverse observará el movimiento característico de una gelatina. En la figura 7 se muestra una incubadora artesanal, que se fabrica con una caja de madera forrada de aislante, con bombillas incandescentes u otra fuente de calor; que permite mantener la mezcla a la temperatura adecuada el tiempo necesario.

**Figura 7 Incubación de yogur en una incubadora artesanal**



Fuente: Ibíd.

### **2.2.7 Segundo enfriamiento**

Una vez transcurrido el tiempo y alcanzada la acidez, se procede a enfriar la leche coagulada hasta una temperatura de 20° C, puede ser por rebalse del agua del baño maría o refrigeración.

El objetivo del enfriamiento es detener el accionar de los microorganismos, o se obtendrá un yogur mucho más ácido cuando la fermentación se detiene de manera natural. Los métodos de enfriamiento se ilustran en la figura 8.

**Figura 8 Enfriamiento de yogur por refrigeración o por Baño María**



Fuente: Ibíd.

### **2.2.8 Batido**

Una vez alcanzados los 20° C o menos de temperatura se agita el yogur, sin dejar entrar aire ni burbujas hasta romper el coágulo; si se desea un yogur de grasa reducida se puede quitar la nata que se formó sobre el coágulo antes de batirlo. En esta etapa se podría incorporar el azúcar, pero puede dar lugar a una mezcla heterogénea y a una disminución en la viscosidad. La figura 9 enseña como realizar el batido manualmente y el instrumento a usar, agitando vigorosamente y constantemente sin que entren aire ni burbujas al coágulo.

**Figura 9 Batido del yogur**



Fuente: Ibíd.

### **2.2.9 Incorporación de frutas**

Si se desea un yogur aromatizado, se incorporará la pulpa de fruta (10%), mermeladas (10%) o colorantes, mezclando suavemente para no dañarlo. En la figura 10 se muestra como se debe agregar la fruta al yogur y el movimiento suave del mezclado hasta lograr su total incorporación.

**Figura 10 Aromatizado con fruta**



Fuente: Ibíd.

### **2.2.10 Envasado, etiquetado y almacenamiento**

Dosificar el yogur en los envases previamente esterilizados, según figura 11, agrupándolos por lotes de producción e indicando en el envase fecha de elaboración, ingredientes y fecha de vencimiento; si no se añadieron conservantes es aproximadamente de 10 a 20 días, en condiciones adecuadas. Para almacenar el yogur se deben refrigerar los envases a una temperatura de 4° C, cuidando de no cortar la cadena de frío durante el periodo de almacenamiento y transporte pues eso arruinaría el yogur.

**Figura 11 Preparación de envases y envasado**



Fuente: Ibíd.

## **2.3 Desventajas y limitantes del proceso actual**

El proceso de elaboración artesanal presenta varias desventajas y limitantes que hacen que solo sea aplicable a una escala reducida; a medida que se incrementa la escala de producción (por encima de los 30 litros diarios) se utilizan cultivos especiales y el proceso de producción debe realizarse con equipamientos e instalaciones apropiadas. Para tecnificar el proceso adecuadamente estas deben de superarse o minimizarse, la diferencia entre las desventajas y las limitantes, es que las primeras dependen de cómo se opere el proceso pero las segundas son intrínsecas a la naturaleza del proceso no importando como se lleve a cabo.

### **2.3.1 Desventajas**

**A. Volumen de producción reducido:** Por la naturaleza del proceso el volumen de producción se limita a la capacidad de los recipientes en que se elabora y a la capacidad del operario para agitar y calentar la mezcla. Si se excede este volumen el producto se echa a perder.

**B. Calentamiento no uniforme:** Al calentar la leche sobre una estufa la temperatura no es la misma en toda la mezcla, a pesar de la agitación manual, ya que la fuente de calor se localiza en un área específica; creando puntos donde la leche estará más caliente que en otros, haciendo que la pasteurización no sea uniforme.

**C. Agitación no constante:** El agitado manual al no tener una velocidad constante o el tiempo adecuado, no puede asegurar la homogeneidad de la mezcla, su composición puede variar; lo que produce problemas de sinéresis en el yogur o diferencias de temperatura en la mezcla cuando debería ser uniforme.

El batido si no se puede realizar a la velocidad adecuada, provocara una disminución en la viscosidad del yogur, dañando su consistencia y reduciendo su calidad.

**D. Enfriamientos inadecuados:** Al no enfriar a una velocidad adecuada, no se obtendrá el efecto el efecto deseado; si no se enfría lo suficientemente rápido el yogur, éste será más ácido que lo deseado. Así mismo si la leche se enfría a una temperatura menor de la requerida para iniciar la fermentación, se hace necesario calentarla para alcanzar de nuevo la condición ideal para la siembra del cultivo.

**E. Contacto excesivo del operario con la mezcla:** Al ser necesaria una agitación constante de la mezcla y mover los recipientes de un sitio a otro en las diferentes etapas de la elaboración del yogur; se hace excesivo el contacto con del operario con la mezcla aumentado en riesgo de contaminación.

**F. Transporte entre etapas:** En el proceso artesanal es necesario transportar el recipiente que contiene la mezcla hacia los diferentes lugares de trabajo. Esto es una pérdida de tiempo, un riesgo de contaminación por contacto y la posibilidad de derrames con la consiguiente pérdida de producto.

### **2.3.2 Limitantes**

**A. Poco control en las variables de operación:** Las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso artesanal de elaboración de yogur hace que sea difícil mantener un estricto control de las variables; porque las mediciones se llevan a cabo en intervalos de tiempo, si sucede alguna alteración ésta no es detectable sino hasta que se vuelven a comprobar los valores de las variables afectadas.

Si el intervalo de tiempo entre estas dos mediciones es muy grande, la alteración no se podrá corregir a tiempo dañándose el producto final.

**B. Métodos inexactos para medir las variables:** El proceso artesanal carece de los medios más exactos para realizar las mediciones de las variables involucradas, si es que existen medios para medirlas. Al no medir el valor de una variable con exactitud se obtiene un dato erróneo afectando a otras etapas del proceso y pudiendo incluso, según sea la importancia de la variable afectada y la magnitud del error incurrido, echar a perder el yogur.

**C. Carencia de un control sanitario:** La elaboración de productos lácteos requiere de un estricto control sanitario. El proceso artesanal no puede garantizar la inocuidad del producto, pues tienen pocas posibilidades de contar con un equipamiento óptimo y controles rigurosos de sanidad e higiene.

**D. Uso de instalaciones y equipo improvisados:** Generalmente cuando se produce yogur a nivel artesanal, las instalaciones en las que se lleva el proceso no fueron diseñadas para el propósito. Instalaciones no adecuadas producen mermas, contaminación y daño en el equipo; además de reducir la productividad del operario si no se encuentran dispuestas en forma práctica.

## **2.4 Identificación de variables en el proceso artesanal de producción de yogur probiótico.**

Durante la fabricación de yogur de forma artesanal se presentan diferentes variables de operación y control, siendo éstas determinantes para la que el proceso cumpla su propósito establecido; que es producir un yogur enriquecido con probióticos libre de aditivos artificiales.

Por ello es fundamental identificarlas y delimitarlas, de manera que puedan ser aplicadas adecuadamente al proceso tecnificado que se desea proponer.

#### **2.4.1 Volumen**

Ésta es la primera variable a tomar en cuenta, pero solo se considera como una variable de operación no de control, porque aunque de ella se derivan muchas de las condiciones del proceso en general, no es funcional como elemento para controlar la evolución adecuada del proceso. Pues una vez establecido el volumen inicial, por la naturaleza del proceso por lotes, el volumen de operación no cambia durante toda la elaboración del yogur; sino que se mantiene estable durante todo el proceso, sin entradas o salidas, ni generación; haciéndolo inadecuado para llevar un control durante el proceso.

La base que se debe utilizar para dimensionar el equipo en esta propuesta, es el volumen inicial de leche que se transformará en yogur; más un 25% por la adición de los aditivos y el cultivo. A partir de éste valor, se determina la capacidad del biorreactor donde ocurrirá el proceso, el área de transferencia de calor necesaria, la cantidad del fluido que se necesitara para transmitir el calor, la potencia que necesita el motor para la agitación de la mezcla básica y del batido, el tamaño del equipo auxiliar necesario, y por último la cantidad de los otros ingredientes necesarios para preparar el yogur deseado.

Un factor importante a considerar en el volumen de operación es la tasa de crecimiento bacteriano del cultivo de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. El crecimiento celular se define como un aumento ordenado de la cantidad de los constituyentes y las estructuras celulares; conlleva un incremento en el tamaño y peso de las células lo que conduce a la división celular, dando por resultado el aumento en el número de células.

Hay dos aspectos en el crecimiento microbiano: uno *estequiométrico*, por el cual la concentración final de microorganismos obtenidos dependerá de la concentración y composición del medio de cultivo, y el otro *cinético*, el que dirá con qué velocidad se lleva a cabo el proceso.

#### 2.4.1.1.1 Estequiometría bacteriana

La aplicación de la estequiometría requiere conocer los rendimientos. Estos se definen como la relación entre el producto obtenido y el sustrato consumido, la fuente de carbono y energía); el rendimiento celular se define:

$$Y_{x/s} = - \frac{dX}{dS} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

**X** representa la concentración de biomasa y **S** de sustrato, para el cálculo del  $Y_{x/s}$  se emplea la expresión:

$$Y_{x/s} = - \frac{\Delta X}{\Delta S} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Si además de microorganismos se forma algún producto en particular, el rendimiento en producto estará dado por:

$$Y_{p/s} = - \frac{dP}{dS} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

La composición elemental de un microorganismo dado durante un cultivo no se modifica mayormente y, lo que es más, las composiciones elementales de distintos tipos de microorganismos (bacterias y hongos) son semejantes. De este modo se puede definir un "microorganismo promedio" como aquél cuya composición es (% p/p): **C**= 46.5; **H**= 6.49; **O**= 31.0; **N**= 10.85, siendo el contenido de sales aproximadamente 5%.



Es importante recalcar que si bien la composición elemental de la biomasa se mantiene constante durante el cultivo, no ocurre lo mismo con la composición macromolecular, esto es: proteínas y ácidos nucleicos; la cual puede variar sensiblemente; teniendo en cuenta la composición media anterior, es posible escribir la "fórmula mínima" de un microorganismo promedio como:

$\text{CH}_{1.79}\text{O}_{0.5}\text{N}_{0.2}$  (en la que está representado el 95% p/p de la biomasa) y con fines netamente prácticos definir "un C-mol de biomasa" como la cantidad de biomasa que contiene un átomo gramo de Carbono. Luego:

$$1 \text{ C-mol de biomasa} = \frac{12 + 1.79 + 16 \times 0.5 + 14 \times 0.2}{0.95} = 25.8 \text{ g} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Por tanto una concentración de  $X$  en g/L de biomasa es equivalente a  $X/25.8$  C-mol de biomasa  $\text{L}^{-1}$ , o bien  $X \cdot \text{ox} / 12$  C-mol de biomasa  $\text{L}^{-1}$ ; donde  $\text{ox}$  es la fracción de Carbono de la biomasa (0.465 para el "microorganismo promedio"). Esta última forma de calcular los C-moles de biomasa es ventajosa ya que sólo requiere conocer  $\text{ox}$ ; un dato que se puede obtener fácilmente de la bibliografía. En caso de no existir datos disponibles, se puede suponer  $\text{ox} = 0.465$  sin temor a cometer errores grandes.

#### 2.4.1.2 Cinética de crecimiento bacteriano

Debido a la naturaleza autocatalítica del crecimiento microbiano, se supone que la concentración de microorganismos  $X$ , influye en la velocidad con que aumenta la población  $r_x$ , así:

$$r_x = \mu X \quad [\text{Ecuación 5}]$$

En esta ecuación,  $\mu$  es la velocidad específica de crecimiento, la cual para un tipo de microorganismo dado depende principalmente de la composición y concentración del medio de cultivo, presencia de inhibidores, temperatura y pH.

Existen diversas expresiones para  $\mu$  la más difundida es la ecuación de **Monod**, que relaciona el valor de  $\mu$  con la concentración de un componente del medio de cultivo que está en defecto respecto de los requerimientos del microorganismo: el sustrato limitante.

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Donde **S** es la concentración de sustrato limitante,  $\mu_m$  es la velocidad de crecimiento específica máxima, y  $K_s$  se conoce como constante de saturación.

El valor de  $K_s$  está inversamente relacionado con la afinidad del microorganismo por el sustrato, cuando **S** »  $K_s$ ;  $\mu$  toma el valor de  $\mu_m$ ,  $\mu_m$  y  $r_x$  sólo dependen de **X**; en general  $K_s$  tiene valores muy bajos, del orden de los mg/l, por tanto concentraciones relativamente bajas de **S** son suficientes para hacer que  $\mu = \mu_m$ , las bacterias poseen en promedio valores de  $\mu_m$  cercanos a  $0.9 \text{ h}^{-1}$ .

Por lo expuesto hasta aquí es evidente que el crecimiento puede ser caracterizado mediante tres parámetros:  $K_s$ ,  $\mu_m$  e  $Y_{x/s}$ , estos dependen tanto del microorganismo como del medio de cultivo empleado. El crecimiento bacteriano ayuda a predecir el cambio en el volumen de operación, por el aumento de biomasa durante la fermentación de la leche.

#### 2.4.2 Temperatura

La temperatura es la variable operacional fundamental en el proceso de elaboración de yogur; pues determina la eficiencia del tratamiento térmico, de la fermentación láctica y de la conservación del producto final.

Siendo independiente del volumen de operación, pues no importa la cantidad de leche, la temperatura siempre es la misma en cada uno de los procesos; pero del valor de ella dependen las diferentes cantidades de calor que debe ser transferido para cada una de las etapas de elaboración, que generaran los resultados y las características que se obtienen en el producto final.

Primero la temperatura de pasteurización, aparte de eliminar los microorganismos indeseables, da comienzo al proceso de proteólisis; que al final da al yogur su estructura característica. Como parte del proceso de pasteurización a la leche se le somete a un choque térmico, con la reducción súbita de la temperatura; que tiene como propósito el eliminar los microorganismos no deseados que aún se puedan hallar en la leche, y también de preparar las condiciones para la siguiente etapa.

En la fermentación, la temperatura es la condición que inicia la actividad bacteriana para la producción de ácido láctico y que determina directamente su duración; siendo esta la etapa central de en la elaboración de yogur, es necesario mantener esta temperatura constante. Los cambios en el valor de la temperatura de incubación, dan lugar a variaciones en las características del producto final, originadas por un mayor crecimiento de alguna de las cepas bacterianas; o retardando el proceso en más tiempo de lo debido.

Finalmente, pero no de menor importancia, la temperatura del segundo enfriamiento debe ser la adecuada para inhibir la actividad ácido láctica de las bacterias, a fin de mantener el nivel de acidez deseado, hasta su consumo; además a la temperatura que se almacena el yogur es la que determina su vida de anaquel. Si la cadena de frío se ve alterada por un cambio de temperatura, el yogur corre el riesgo de contaminación o de echarse a perder.

Además la cadena de frío ayuda a mantener la viabilidad de los probióticos en el yogur hasta que llegue la hora de consumirlo. La temperatura se aplica como una variable de control fundamental; determinando la cantidad de calor que se ingresa o extrae para mantener las condiciones adecuadas del proceso y a través de las variaciones del valor de la temperatura los posibles cambios que puedan darse y las acciones a tomar.

#### **2.4.2 Tiempo**

Es la tercera de las variables fundamentales en la elaboración de yogur; éste es determinante en los procesos de pasteurización y fermentación pues sirve de control para determinar la duración del proceso. En la pasteurización, un tiempo adecuado de tratamiento térmico asegura una completa erradicación de los microorganismos patógenos; mientras que en la fermentación el tiempo indicara el nivel de ácido láctico que tendrá el producto final.

La cinética del crecimiento bacteriano esta íntimamente ligada al tiempo de fermentación pues es un indicador del tiempo en el cual, por la reproducción bacteriana, se alcanzará el nivel de acidez deseado en el yogur.

#### **2.4.4 Otras variables**

El pH y la viscosidad son dos de las características del yogur que pueden ser utilizadas como variables de control, para indicar si el proceso se ha realizado adecuadamente. La velocidad de agitación es la variable de operación que asegurará la uniformidad del proceso, de forma que toda la mezcla tenga la misma composición y temperatura.

### **3. TECNIFICACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN ARTESANAL DEL YOGUR PROBIÓTICO**

#### **3.1 Criterios para tecnificar la elaboración de yogur probiótico**

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, acerca de las etapas que deben llevarse a cabo para transformar la leche en yogur y de como se realizan a nivel artesanal; se ve la necesidad de establecer un proceso más tecnificado para superar las limitantes y desventajas que presenta el método actual de elaboración artesanal.

Para lograr una tecnificación adecuada, se consideraron las variables del proceso que fueron delimitadas en base a la elaboración artesanal; a partir de las cuales se determinaron las características que debe llenar el equipo para realizar el proceso tecnificado y las adaptaciones necesarias a cada una de las etapas del proceso actual de fabricación de yogur.

Inicialmente se selecciona el equipo adecuado que pueda llenar los requerimientos del proceso en cuanto al tratamiento térmico eficaz, mantenimiento de condiciones apropiadas durante la fermentación, los enfriamientos a la velocidad requerida, con un mezclado homogéneo y la agitación adecuada.

También es importante la elección del material de fabricación para que permita una mejor transferencia de calor y que sea sanitariamente aceptable; así mismo los accesorios son de vital importancia pues ayudan al correcto funcionamiento del equipo.

Luego de la elección del equipo se establece el procedimiento de operación en base al proceso actual, para que siga sin añadirle aditivos ni sabores no naturales; manteniendo el yogur libre de conservantes, como un producto probiótico; que trabaje con los valores artesanales de temperatura y tiempo para cada etapa; pero con la introducción de mejoras en el calentamiento, mezclado y agitación.

Finalmente, en el nuevo proceso se realiza la implementación de los puntos de control que permiten monitorear cuidadosamente para regular y optimizar el proceso de elaboración. Como resultado se obtendrá un proceso de variables reguladas, controlado higiénicamente, con mejor aprovechamiento de la energía y un mayor nivel de producción por lote.

## **3.2 Implementación de un tanque biorreactor multiusos para elaborar yogur**

La producción de yogur se basa en el uso de microorganismos como agentes catalíticos; al equipo industrial donde se realizan estos procesos se denomina biorreactor.

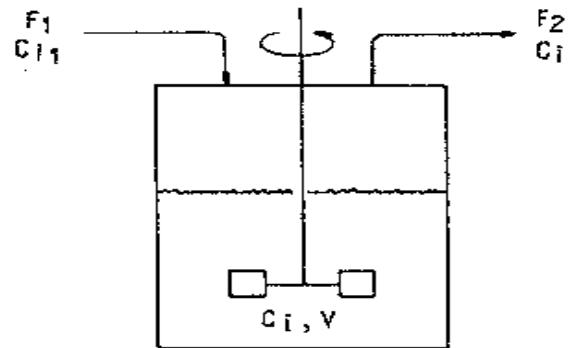
### **3.2.1 Equipo industrial para el cultivo de microorganismos**

#### **3.2.1.1 Biorreactor**

Un biorreactor es un sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo; en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra microorganismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de los mismos; el cual puede ser aeróbico o anaeróbico (Ref. 24). En la figura 12 se ilustra el esquema de un biorreactor, el equipo fundamental en la microbiología industrial.

Figura 12 Esquema de un Biorreactor

Es el recipiente donde se realiza el cultivo, y su diseño debe ser tal que asegure un ambiente uniforme y adecuado para los microorganismos; un biorreactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propicias (pH, temperatura, concentración de oxígeno, etcétera) al elemento que se cultiva. (Ref. 25).



Esquema de un biorreactor con indicación de los caudales y concentraciones a la entrada y a la salida. La flecha que rodea el eje del agitador significa que el cultivo está perfectamente mezclado.

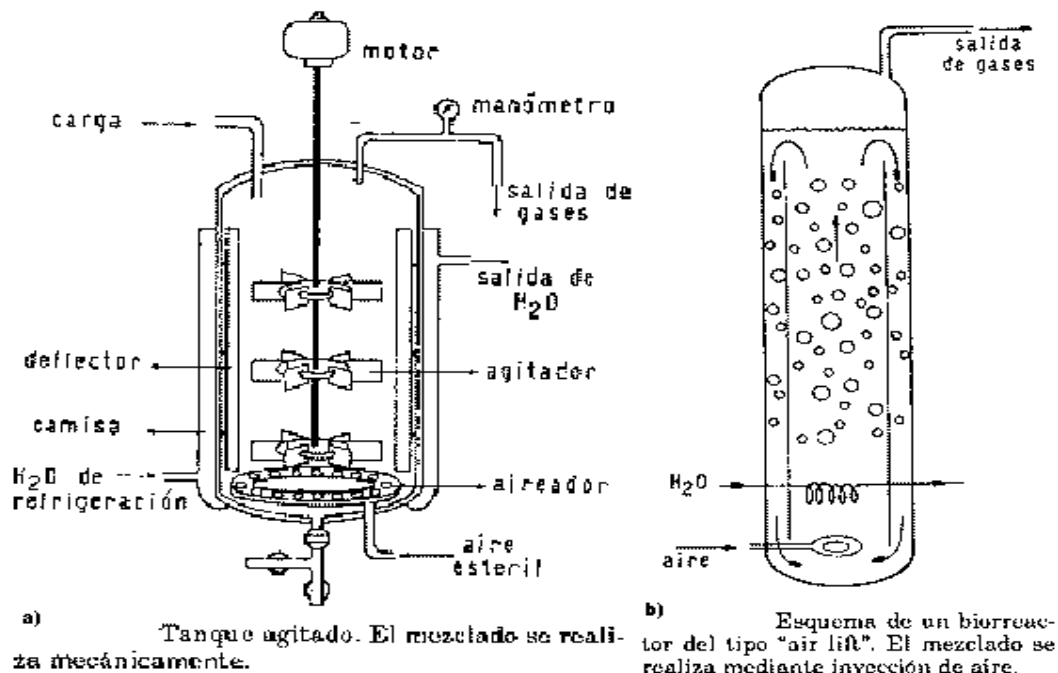
Fuente: Manual de microbiología industrial PDF

Las que tareas que se requieren de un biorreactor son:

- A. Mantener las células uniformemente distribuidas en todo el volumen de cultivo a fin de prevenir la sedimentación o la flotación.
- B. Mantener constante y homogénea la temperatura.
- C. Minimizar los gradientes de concentración de nutrientes.
- D. Poseer un diseño que permita mantener el cultivo puro; una vez que todo el sistema ha sido esterilizado y posteriormente sembrado con el microorganismo deseado.

Para satisfacer estas condiciones es necesario que el biorreactor esté provisto de un sistema adecuado de agitación, además para que la distribución sea uniforme durante el cultivo se utiliza un tanque para contenerla; si se trabaja un proceso aeróbico se requiere de un sistema que inyecte aire en el cultivo; en la figura 13 se ilustran dos tipos de biorreactores, a la izquierda el agitado mecánicamente y a la derecha el tipo *air-lift* o levantado por aire.

Figura 13 Esquema de biorreactores



Fuente: Ibíd

La fermentación biológica es generalmente exotérmica, por lo que en la mayor parte de los casos, para mantener la temperatura constante en el proceso el tanque del biorreactor está rodeado por una camisa por la que circula agua (u otro fluido), lo que permite controlar la temperatura; para tanques mayores, este sistema ya no es eficiente y es reemplazado por un serpentín que circula adyacente a la pared interior del tanque. Por ello al implementar un biorreactor se requiere de un intercambiador de calor para mantener el líquido de enfriamiento a la temperatura deseada.

La misma propagación celular (*Fouling*) puede afectar la esterilidad y eficiencia del biorreactor, especialmente en los intercambiadores de calor; para evitar esto, el biorreactor debe ser de fácil limpieza y con acabados lo más sanitariamente posible (de ahí sus formas redondeadas y lisas).



Los biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mililitros hasta varios metros cúbicos y son usualmente fabricados con acero inoxidable pulido. (Ref. 25)

El diseño de biorreactores es una tarea de ingeniería bastante compleja porque los microorganismos o células son capaces de realizar su función deseada con gran eficiencia solo bajo condiciones óptimas; estas condiciones ambientales como flujo de gases (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.), temperatura, pH, oxígeno disuelto y velocidad de agitación o circulación, deben ser cuidadosamente monitoreadas y controladas. La mayoría de los fabricantes industriales de biorreactores usan recipientes, sensores, controladores y un sistema de control interconectados para su funcionamiento en el sistema de cultivo.

Los factores que se consideran fundamentales para el diseño de biorreactores son tamaño, condiciones del proceso, configuración del biorreactor, modo de operación, esterilización, procesos post-fermentativos y coste. (Ref. 26).

#### **3.2.1.2 Proceso de cultivo por lotes o tipo *Batch***

Cuando se habla de los sistemas de cultivo de microorganismos, se hace referencia al modo de operación de un biorreactor. La operación de un biorreactor puede ser, según los flujos de entrada y salida, de tres modos distintos (Ref. 25):

- A.** Lote o tipo *Batch*: Cuando no existen entradas ni salidas durante todo el proceso.
- B.** Lote alimentado o *Fed-Batch*: Cuando se alimenta suministros al cultivo para mantener el nivel de sustrato al máximo.

**C. Continuo o quimiostato:** Cuando además de alimentar al sistema, se descargan los productos y los desechos.

El cultivo tipo *batch* o por lotes, si bien es quizás el más difundido en los procesos de fermentación y es el que se aplica en la obtención de yogur; pero es el que ofrece menos posibilidades de control. Una vez sembrado el medio de cultivo y fijada la temperatura, las células quedan sujetas a su propia potencialidad, que se manifiesta creciendo a la máxima velocidad que le permite el medio de cultivo empleado, siendo el operador un mero espectador de los acontecimientos, limitándose a mantener constantes las condiciones que requiere este proceso para continuar.

La duración del cultivo *batch* es limitada en el tiempo y depende esencialmente de las condiciones iniciales del cultivo. Una vez inoculado el medio, la concentración de biomasa aumenta rápidamente a expensas de los nutrientes del medio; y conforme el sustrato que limita el crecimiento se va agotando la propagación se hace más lenta hasta que se detiene toda reproducción celular, finalizando entonces el *batch*.

### **3.2.2 Selección y descripción del tanque biorreactor multiusos para elaborar yogur**

Para la tecnificación de la elaboración artesanal de yogur es importante que el nivel de producción se mantenga a pequeña escala a fin de conservar los beneficios que obtiene el yogur de origen artesanal, en comparación al yogur producido a gran escala. Por ello se establecerá, de acuerdo al criterio del productor, una cantidad inicial máxima de operación por lote fabricado, al ser el volumen la variable en la que se basa la dimensión de la producción; esta cantidad no debe ser tan grande que haga que el proceso se transforme en industrializado.

Se propone la implementación de un tanque multiuso, tipo biorreactor encamisado, en el que se llevarán a cabo todas las etapas necesarias para fabricar el yogur. Esto es debido a que solo operará un volumen pequeño y es el que mantiene lo más posible las características que se desean conservar del proceso artesanal.

**Figura 14 Tanque para pasteurización**

El uso de un tanque multiuso tipo biorreactor para la elaboración de yogur, es lo más adecuado para la producción a pequeña escala; pues permite llevar a cabo todo el proceso en un mismo lugar, sin necesidad de trasladar la leche en las diferentes etapas, sólo hay que monitorear que las variables de operación estén en su valor correcto; además no requiere mucho espacio y es de fácil operación y limpieza.



Fuente: <http://www.aginsa.com/page/productoprocesamiento.htm>

Generalmente un tanque multiuso para la elaboración de yogur se basa en un pasteurizador discontinuo (Figura 14), rodeado de una camisa en la que circule algún agente térmico. Al introducir unas modificaciones permite además de pasteurizar, mantener constante la temperatura de fermentación y enfriar rápidamente; adaptándole con el homogenizador y el agitador adecuados se podrá mezclar y batir el yogur para darle una mejor consistencia; asegurando la uniformidad en el producto final.

La ventaja de procesar el yogur en un tanque multiusos es que no existe mucho daño en la estructura ni consistencia del producto final; al no recibir trabajo mecánico innecesario, por transporte entre tanques o circulación en intercambiadores. Además, reduce las posibilidades de contaminación porque el contacto con la mezcla es mínimo, ya que el tanque se mantiene cerrado luego de cargar la materia prima; levantando la tapadera solo para realizar la inoculación del cultivo bacteriano y añadir los sabores.

### **3.2.3 Características requeridas en el tanque**

El proceso para elaborar yogur probiótico requiere de ciertas condiciones que debe de cumplir el tanque biorreactor donde se lleve a cabo; pues es necesario a parte mantener a los organismos vivos durante todo el proceso, tener una transferencia de calor eficaz un mezclado adecuado y evitar la contaminación del producto final. Por eso el tanque multiuso para elaborar yogur debe cumplir, por lo menos, con lo siguiente:

- A.** Acceso fácil a todos sus componentes para su limpieza.
- B.** Una tapadera de cierre totalmente hermético para evitar la contaminación del medio, pero con un visor adecuado para ver la evolución del producto.
- C.** El material de fabricación no debe contaminar el proceso.
- D.** Indicadores para determinar el volumen que se ha colocado dentro del tanque.
- E.** Puertos de acceso en la camisa para la entrada y salida del fluido térmico.
- F.** Puerto de descarga para el producto del diámetro adecuado.
- G.** Coplas para insertar los sensores de temperatura y pH.

### 3.2.4 Determinación de las dimensiones del tanque

El tanque que contendrá la leche para procesarla en yogur tendrá que ser de las medidas adecuadas para contener los 100 litros de leche; pero también debe tener las dimensiones para ser de fácil acceso y operación.

Para determinar el tamaño y medidas del tanque biorreactor se realizan los siguientes cálculos, basándose en una capacidad inicial de 100 litros; al ser esta una cantidad que mantiene el proceso en el rango artesanal:

**Volumen inicial de leche fluida (v)= 100 L**

**Densidad media de la leche ( $\rho$ )= 1.032 Kg/L = 1030 Kg/m<sup>3</sup>**

**Masa de la leche (m)  $m = \rho \times v$  [Ecuación 7]**

$$= (100L \times 1.032Kg/L) = 103.2Kg$$

**Volumen métrico de la leche (v)  $v = m \div \rho$  [Ecuación 8]**

$$= 103.2 Kg. \div (1030 Kg/m^3) = 0.1002m^3$$

A esta cantidad se le añade un 25% porque la mezcla aumenta su volumen al agregar los estabilizantes, el cultivo bacteriano y el aumento de biomasa, siendo el volumen de trabajo de:

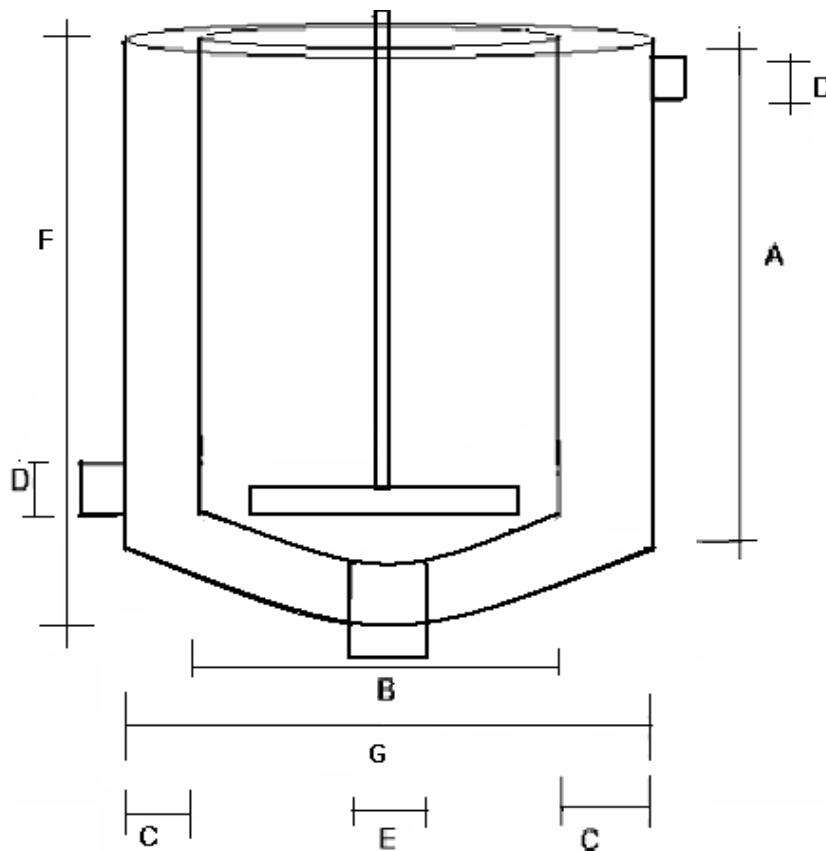
**Volumen total (V)= 0.1027m<sup>3</sup>**

En base a este volumen se puede dimensionar el tanque, utilizando las ecuaciones geométricas de volumen y área; estimando un grosor de la camisa del tanque proporcional al tamaño del tanque, se obtienen las dimensiones mostradas en la tabla II, cuyo esquema se muestra en la figura 15:

**Tabla II Dimensiones del tanque multiusos para elaborar yogur**

Altura	Ancho	Grosor de camisa	Entrada y salida para fluido térmico	Salida de producto
A= 0.6m F= 0.75m	B= 0.508 m G= 0.8.08 m	C = 0.15m	D= 0.10m	E= 0.10m
Volumen interior	Área interior	Volumen de camisa	Área de contacto	Grosor de tanque
$V_I = 0.12\text{m}^3$	$A_I = 1.33 \text{ m}^2$	$V_C = 0.185 \text{ m}^3$	$A_C = 1.37\text{m}^2$	$\delta = 0.0021\text{m}$

**Figura 15 Dimensiones del tanque multiuso propuesto**



### **3.2.5 Selección de los materiales de fabricación**

Por la naturaleza del proceso, el recipiente debe ser construido en acero inoxidable calidad AISI 304 con pulido liso sanitario y respetando las normas alimenticias; mientras que la chaqueta exterior se fabrica con acero calidad AISI 304 pulido 2B de origen. La lámina de acero 304 tendrá un calibre de 1/14" (0.0021m) para el tanque interior y 1/16" (0.0017m) para la camisa exterior.

Para la facilidad del proceso, se puede montar al tanque sobre una plataforma con rodos, con el fin de ser transportado y almacenado cuando no se utiliza. La tapadera del tanque será removible para permitir la carga de la materia prima, aditivos y cultivo bacteriano; con cierre hermético para evitar contaminación, pero no a presión pues no es necesario.

### **3.3 Selección de equipo auxiliar para el tanque biorreactor para elaborar yogur**

Para poder emplear para la elaboración de yogur el biorreactor descrito anteriormente, se hace necesario contar con diferentes componentes que aseguren su correcto funcionamiento. Las dimensiones del equipo deben permitir que pueda ser desplazado de un lugar a otro cómodamente, al montar el tanque sobre una plataforma con rodos; por ello los acoples de acceso al tanque deben de ser de fácil desmontaje, Todos los accesorios, válvulas tuberías y bombas, para manejar la salida del producto deben ser de tipo sanitario y esterilizables a fin de evitar la contaminación; ya que la carga de materia prima y de los otros ingredientes se hace de forma manual, a través de la tapadera del tanque, solo se necesita especificar el equipo y accesorios para descarga.

### 3.3.1 Homogenizador

Como parte de la tecnificación del proceso artesanal de elaboración de yogur, se incrementará el volumen de operación lo que hace necesario implementar la homogenización de la mezcla base de la leche para lograr un mejor producto final. Industrialmente se usa un homogenizador para lograr una adecuada emulsificación de la mezcla de la base para elaborar yogur. Pero un homogenizador es muy costoso, pues requiere de una instalación y equipo adicionales a las del tanque biorreactor y necesita de constante mantenimiento; siendo más recomendable su empleo en procesos continuos o lotes grandes.

**Figura 16 Mezcladores rotor/ estator**

Por tratarse de un lote de volumen de operación a nivel artesanal, para homogenizar la mezcla base para preparar el yogur; se puede utilizar una mezcladora portátil de rotor/ estator (Figura 16 izquierda ) sumergible en el tanque biorreactor. Esta es una mezcladora de alta velocidad que consta de un conjunto eje-motor pivotante, con cuatro paletas que giran a alta velocidad y un cabezal generador, por el que circula la mezcla a alta velocidad, compuesto de un rotor (parte móvil) y un estator (parte fija), como los de la figura 16 derecha; produciendo un enérgico mezclado en corto tiempo, con un dispositivo que cubre las paletas siendo capaz de homogenizar totalmente el producto.

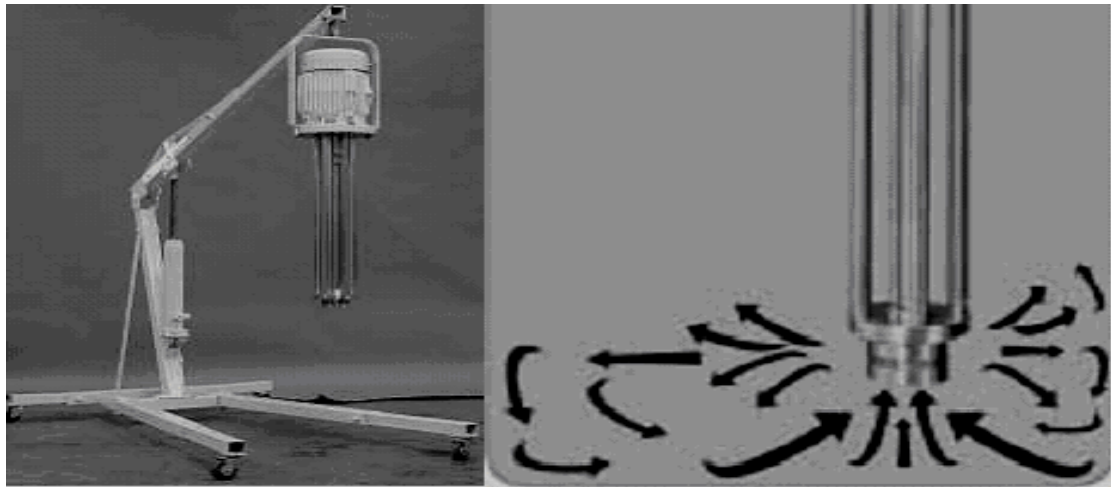


Fuente: [http://www.mixers.com/pdf/high\\_shear\\_](http://www.mixers.com/pdf/high_shear_)



El patrón de flujo de mezcla generado a través de la cabeza de la mezcladora se ilustra a la derecha de la figura 17.

**Figura 17 Mezcladora portátil de alta velocidad**



Fuente: Ibíd.

Al usar estas mezcladoras deberán incluir un sello mecánico sobre el árbol de transmisión del motor y una brida ANSI para permitir anclarse en el tope del recipiente cerrado; haciéndolo apto para operarlo con la tapadera abierta. Pues no hay necesidad de adaptarlo a la tapadera del tanque, porque solo se utiliza por corto tiempo y cualquier contaminación microbiológica se eliminará posteriormente con la pasteurización, solo se tiene que evitar la contaminación física cuidando las buenas prácticas de manufactura durante el proceso.

También puede llevarse a cabo la homogenización con la mezcladora de rotor/ estator montada sobre un pedestal hidráulico rodante (Figura 17 izquierda) en el tanque abierto. La mezcladora se coloca ligeramente a un lado del centro del tanque con el generador de rotor/ estator del mezclador se coloca a una distancia de 2-3 veces el diámetro de su cabeza del fondo del recipiente, la ventaja del uso del pedestal es que se puede movilizar el mezclador sin necesidad de cargarlo o ajustarlo a la orilla del tanque.

Además, la mezcladora rotor/ estator portátil de alta velocidad es más barata que un homogenizador convencional, no requiere otras instalaciones y se puede remover cuando no se utiliza para no entorpecer el proceso.

Por efectos sanitarios, para su uso en la fabricación de alimentos; el cuerpo y el eje de la mezcladora son construidos en acero inoxidable 316, con recubrimientos especiales para el rotor/ estator que son de aleaciones especiales. Los valores de homogenización requeridos para la mezcla base que se utilizan en la fabricación de yogur son de 1500 a 2800 psi; pero se considera adecuado utilizar el primer valor para disminuir el trabajo mecánico.

### **3.3.2 Agitadores**

La importancia de la agitación adecuada en la elaboración de yogur es que aumenta la eficiencia del tanque biorreactor en los procesos de mezclado y transferencia de calor, al mantener las condiciones casi uniformes; por ello es necesario tener un agitador. La eficacia en la agitación depende de la velocidad de rotación del agitador, la diferencia de la velocidad entre la mezcla y el agitador, la formación de remolinos y la incorporación de aire en la masa del líquido; siendo los dos últimos las condiciones que se deben evitar.

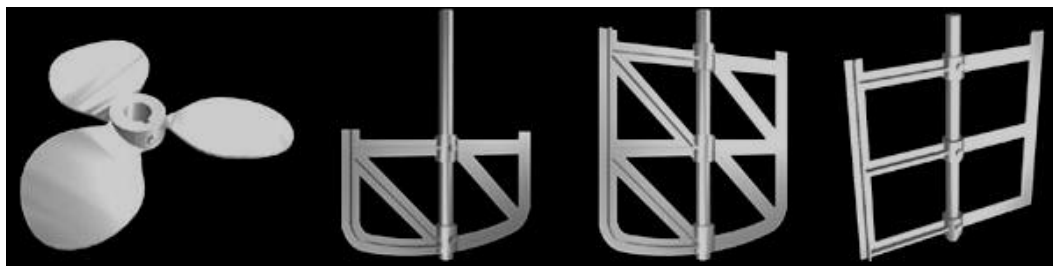
Generalmente, el equipo para agitar yogur en un tanque consiste en un agitador montado sobre un eje suspendido desde la parte superior, el cual está accionado por un motor; conectado a veces, directamente al mismo, pero con mayor frecuencia, a través de una caja de engranajes reductores; creando un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador

De acuerdo a **A.K Robinson**, lo más conveniente en un tanque multiuso para la producción de yogur a mediana escala es tener un solo agitador, cuya forma permita que se pueda utilizar en las diferentes fases de la producción acoplado un motor de dos velocidades, directamente en la tapadera del tanque. Ya que debido a la naturaleza del proceso, en las etapas en las que se necesita agitación no debe existir ninguna fuente de contaminación; no se puede dejar la mezcla expuesta al ambiente mientras se agita, ni abrir el tanque para cambiar de agitador.

La velocidad más rápida (35-40 r.p.m.) es para emplearse en la preparación de la mezcla base, durante el tratamiento térmico y en el primer enfriamiento. La velocidad lenta (17-20 r.p.m.) se utiliza para la suave agitación que necesitan la inoculación del cultivo bacteriano, el batido del coágulo, así como el segundo enfriamiento y la incorporación de los aromas y sabores.

Los tres tipos principales de agitadores son según la figura 18, donde cada uno de estos tipos comprende muchas variaciones y subtipos; que se adaptan a cada necesidad. Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial; los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial.

**Figura 18 Agitador de turbina, de ancla, doble ancla y de paletas**



Fuente: <http://www.sseengineeringindia.com/blades.htm>

Por ello, para producir yogur en un tanque multiuso (figura 14) se sugiere utilizar un agitador de paleta; que está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical; aunque puede estar formado por 2 y 3 paletas, si el volumen del tanque es muy grande. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo; produciendo un trabajo mecánico más suave en el yogur.

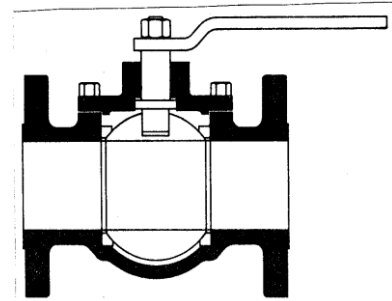
Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla (figura 18); este tipo de agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en el tanque enchaquetado; siendo esta característica que los hace ideales para la agitación del coágulo del yogur, siendo entonces la opción preferida para utilizar en la propuesta técnica.

### **3.3.3 Válvula de descarga del tanque**

El diámetro de la válvula de descarga del yogur debe ser superior a los 0.05 m, para permitir el flujo adecuado de la salida del yogur. Para ello se instala una válvula de bola, estas son de  $\frac{1}{4}$  de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta. Pero corta el paso cuando se gira la bola  $90^\circ$  cerrando el conducto (Figura 19); esta válvula se recomienda, por el servicio de conducción y corte sin estrangulación, porque da una apertura rápida y tiene resistencia mínima a la circulación.

**Figura 19 Válvula de bola**

Las ventajas que tiene el uso de esta válvula son bajo costo, alta capacidad, corte bidireccional, circulación en línea recta, pocas fugas, se limpia por si sola, necesita poco mantenimiento, no requiere lubricación, tiene un tamaño compacto y un cierre hermético con baja torsión (par).



Fuente:  
<http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.html>

Aunque este tipo de válvula presenta ciertas desventajas, como una alta torsión para accionarla, características deficientes para estrangulación, susceptible al desgaste de sellos o empaquetaduras y es propensa a la cavitación; su versatilidad para instalarla y la gran cantidad de materiales en los que se fabrica, la hacen una excelente opción para instalarla en el tanque, y solo se debe cuidar que haya suficiente espacio para accionar la manija.

Al elegir la válvula de globo adecuada debe tenerse en cuenta la temperatura de operación, tipo de orificio en la bola, material para uso sanitario, presión de funcionamiento, el orificio completo y la colocación de la entrada por la parte superior.

### **3.3.4 Bombas para transporte de yogur**

Al finalizar el proceso de elaboración de yogur, es necesario transportarlo del tanque hacia la envasadora utilizando una bomba; la cual debe tener las características adecuadas. Por lo que resulta vital una correcta elección pues cualquier tratamiento mecánico inadecuado puede afectar en forma definitiva la viscosidad del producto.

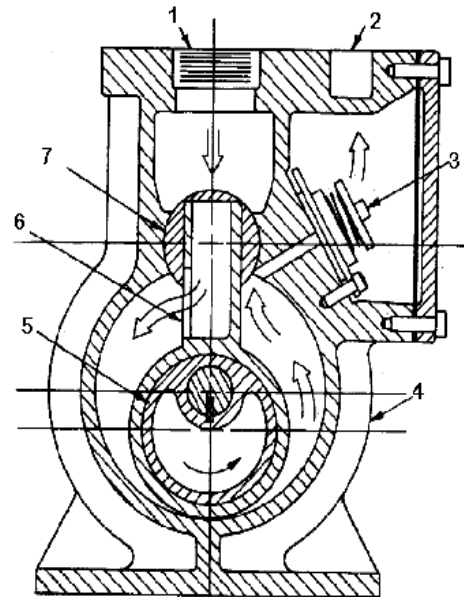
**Steenbergen** ha estudiado el efecto del bombeo en la viscosidad del yogur, destacando como aspectos importantes la velocidad de la bomba, la forma y tipo de rotor y la existencia de una presión opuesta en la línea de procesado. Por ello a nivel industrial utilizan bombas de desplazamiento positivo, específicamente las de pistones rotatorios como la descrita en la figura 20.

A fin de evitar los efectos de la velocidad en lugar de incrementar la frecuencia, se recomienda utilizar una bomba con mayor capacidad de bombeo; la viscosidad del yogur también se reduce después del bombeo por la presión opuesta, que es resultado de diversos factores como el tipo y número de accesorios, la disposición de las conducciones.

Cualesquiera que sean las precauciones que se adopten la manipulación del yogur siempre supondrá una disminución en la viscosidad, aunque esta debe mantenerse al mínimo.

Otro tipo de bombas de desplazamiento positivo, utilizadas para el yogur de frutas son las de tornillos sinfín; el desplazamiento positivo también puede lograrse con una bomba rotatoria de paletas flexibles (Figura 21), en las que por la fuerza que genera la acción de vacío y compresión al moverse las paletas, hacen que el yogur se desplace.

**Figura 20 Bomba de pistones rotatorios**



- 1 Entrada del fluido
- 2 Descarga de la bomba.
- 3 Válvula de descarga.
- 4 Cilindro.
- 5 Leva.
- 7 Vástago deslizante.
- 6 Pistón

Fuente:  
[http://vacuum.tuthill.com/Product\\_Manuals/Esp.pdf](http://vacuum.tuthill.com/Product_Manuals/Esp.pdf)

**Figura 21 Flujo en bomba de paletas**



Al instalarse estas bombas positivas pueden ser “puenteadas”, para llevar a cabo su limpieza manualmente. Más adelante se expone la aplicación de una bomba peristáltica como parte

de una unidad de envasado semi-automático; eliminando la necesidad de utilizar una bomba de descarga.

Fuente:  
<http://www.almuro.net/sitios/Mecanica/engrase.asp?sw06=1>

### **3.4 Envasado de yogur**

El envasado es la fase final de la fabricación de yogur, pero no por eso deja de ser importante; un manejo inadecuado produce contaminación y variación de volumen, en el producto final.

Por la naturaleza del proceso actualmente se prefiere usar envases de plástico (poliestireno) inyectado con tapadera de cierre hermético a presión, porque existen en diferentes presentaciones, permiten un mejor manejo y almacenamiento del producto final, siendo éstos los que el consumidor prefiere por ser los más prácticos.

En esta propuesta se expone la posibilidad de usar una envasadora manual, o de una unidad de envasado semiautomático; por manejarse lotes pequeños no se considera necesario el uso de una unidad de envasado completamente automática, ya que son muy costosas.

### 3.4.1 Envasado manual

Cuando se lleva a cabo el llenado en el proceso artesanal este se lleva a cabo por trasvasado manual, utilizando una medida para llenar los envases. Pero al tecnificar el proceso es necesario contar con una envasadora que asegure una uniformidad en el volumen de los envases y que reduzcan la contaminación por manejo.

**Figura 22 Envasadora manual**

La elección adecuada de la envasadora ayudará a reducir el tiempo de procesado y las mermas en el yogur, para esta propuesta puede implementarse una envasadora de llenado manual, porque el proceso es por lotes y el volumen no es tan grande para que se necesite una envasadora continua. Siendo esta la selección más económica pero que lleva más trabajo; aumentando el tiempo del proceso, como la que se muestra en la figura 22.



Fuente:  
<http://www.autosuficiencia.com.ar/>

Se puede enviar el yogur hacia la envasadora permitiendo que el yogur fluya por gravedad, a través de una manguera que se encuentre conectada a la válvula de descarga del tanque y unida a la parte superior de la envasadora; donde manualmente se coloca el envase y se dosifica el yogur.

La desventaja de este proceso es que requiere que el operario maneje adecuadamente el equipo, para determinar el volumen adecuado, llenar correctamente el envase y no contaminarlo.

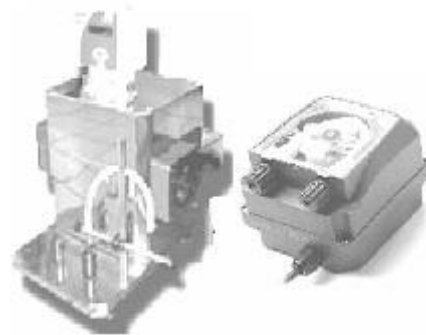


### 3.4.2 Envasado semiautomático

Durante el envasado para garantizar la calidad necesaria en la manipulación del yogur, reducir el tiempo y aumentar la precisión; se sugeriría implementar una unidad mini envasadora conectada a una bomba peristáltica. El producto que está en el tanque se transfiere al envase final por medio de la bomba peristáltica, evitando utilizar otra bomba para descargarlo. La figura 23 muestra la unidad de envasado y la bomba.

**Figura 23 Unidad mini envasadora y bomba peristáltica**

Este es el sistema más preciso y aséptico en existencia en el mercado, ya que el yogur no pasa directamente por la bomba. La transferencia del líquido tiene lugar por medio de varios rodillos que presionan la manguera desde el exterior transportándolo hasta el envase; las cuales se pueden cambiar si se envasan diferentes clases de yogur.



Fuentes: <http://www.jhm.com.br/>  
[www.controlydosificacion.com/](http://www.controlydosificacion.com/)

La ventaja es que la bomba realiza la dosificación en cada envase, pues el caudal se regula mediante un *timmer*, la presión máxima es bastante baja y son fáciles de instalar. El operario solo se encarga de colocar y retirar los envases.

### **3.5 Proceso tecnificado para la elaboración de yogur probiótico en el equipo propuesto**

A fin de presentar una propuesta técnica para la elaboración artesanal de yogur enriquecido con probióticos; era necesario conocer a fondo el proceso en el cual estará basada y el equipo que se utilizará para procesarlo. Para finalizar se debe establecer el funcionamiento esperado del equipo propuesto y el procedimiento de que tendrá que llevarse a cabo cuando se elabore el yogur.

#### **3.5.1 Diagrama y funcionamiento del equipo propuesto**

El siguiente diagrama ilustra la disposición y el funcionamiento esperado del equipo propuesto para la tecnificación del proceso artesanal de elaboración de yogur enriquecido con probióticos; también muestra el circuito recorrido por el fluido térmico para el tratamiento térmico y los dos enfriamientos, que se describen de acuerdo a la nomenclatura del diagrama, de la siguiente manera:

1. Ciclo de calentamiento de la mezcla base para pasteurización:
  - 1.1 Bombeado del fluido térmico previamente calentado por la caldera eléctrica.
    - 1.2 Entrada del fluido térmico caliente al encamisado del tanque.
  
2. Recirculación de fluido térmico para el recalentamiento.
  - 2.1 Salida del fluido térmico del encamisado a una temperatura más baja.
  - 2.2 Regreso del fluido térmico hacia el intercambiador para recalentarlo.

### 3. Ciclo de refrigeración del fluido térmico, para los enfriamientos del yogur.

3.1 Al terminar el tratamiento térmico, se descargándolo del encamisado hacia el enfriador para reducir su temperatura y prepararlo para el primer enfriamiento.

3.2 Luego de ser enfriado el fluido se bombea hacia el encamisado, haciéndolo circular rápidamente.

3.3 El fluido térmico frío ingresa al encamisado, creando un choque térmico para la eliminación completa de las bacterias en la mezcla base.

3.4 Cuando acaba de circular en la camisa el fluido regresa al enfriador para volverse a enfriar y reducir así la temperatura de la mezcla en el en el tanque. Al alcanzar la temperatura óptima de incubación se detiene o reduce la circulación, a fin de que el fluido térmico actúe como aislante durante el periodo de fermentación.

3.5 Finalmente si se ha conseguido el nivel de acidez deseado se inicia el ciclo de refrigeración del yogur enfriando nuevamente el fluido térmico a un a temperatura menor que el primer enfriamiento y haciéndolo circular rápidamente en la camisa para detener lo antes posible la fermentación.

### 4. Descarga del fluido térmico hacia depósitos al terminar el proceso.

### 5. Descarga de yogurt para su envasado.

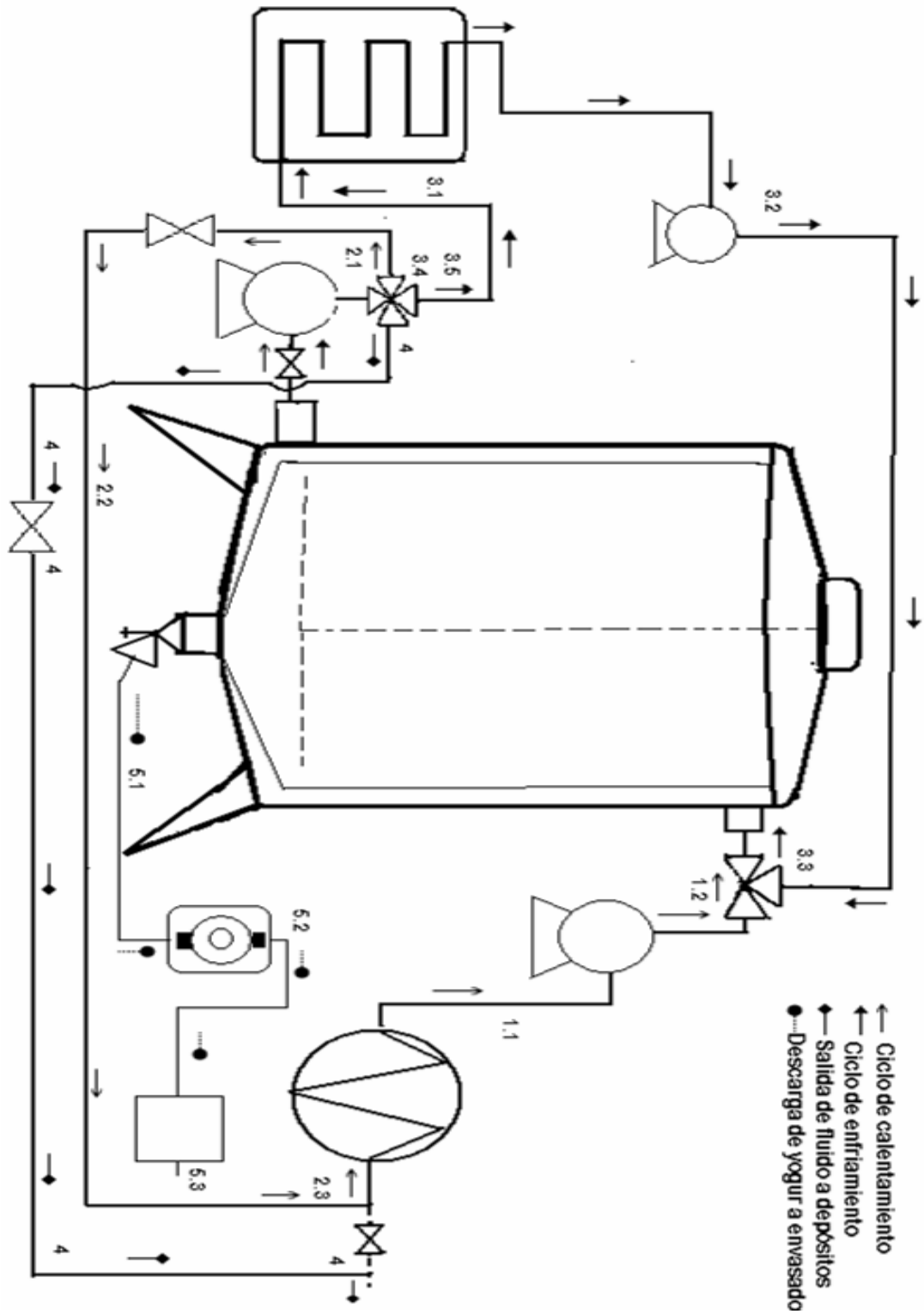
5.1 El yogurt se descarga a través de la válvula al fondo del tanque.

5.2 Pasa a través de la bomba peristáltica que lo dosifica.

5.3 Para finalizar el yogurt llega a la envasadora en donde se deposita en su envase.

Por el tipo de proceso no existe flujo de yogurt, ya que media vez cargan las materias primas manualmente al tanque por la tapadera, éste solo se descarga como producto final. Las temperaturas, tiempos de operación y nivel de acidez dependerán del tipo de yogurt, los cultivos y la maquinaria usada, por lo que cada fabricante tendrá sus propias variables de proceso.

Figura 24 Diagrama de equipo propuesto



### **3.5.2 Proceso de operación estándar del equipo propuesto**

Como parte del proceso tecnificar la elaboración artesanal de yogur probiótico es necesario contar con un proceso de operación estándar; que permitirá al operario repetirlo adecuadamente en cada lote fabricado, para que reduzca al mínimo la posibilidad de errores debidos a una mala operación.

Este proceso estándar de operación, conocido también por sus siglas POES, depende de las características de cada uno de los equipos que se seleccionen; pero de forma general, se puede esbozar de la siguiente manera usando como base el arreglo general propuesto para equipo en la figura 24:

- A. Verificar que el tanque, equipo y accesorios se encuentren en condiciones adecuadas, de no ser así solucionar el problema antes de proceder.
- B. Recibir la leche y verificar por inspección que tenga el olor y color adecuados, si tiene duda tomar una pequeña muestra y probarla para verificar que el sabor sea el esperado.
- C. Si la leche está en condiciones adecuadas, se procede a filtrarla y descargarla en el tanque.
- D. Preparación de la mezcla base:
  - D.1 Pesar los materiales secos (leche en polvo, gelatina natural) en cantidad suficiente para igualar un 10% del peso de la leche vertida en el tanque; si se va añadir azúcar se agrega junto a los materiales secos.
  - D.2 Verter los materiales secos en la leche en pequeñas porciones, agitando solo hasta que se mojen, no es necesario que queden bien disueltos.
  - D.3 Homogenizar la mezcla utilizando el mezclador/ rotor/ estartor portátil, hasta disolver los materiales sólidos.
- E. Tapar el tanque verificando que quede bien cerrado y conectar el agitador del tanque a velocidad media.

- F. Iniciar el ciclo de calentamiento con el fluido térmico (el procedimiento depende del equipo escogido).
- G. Monitorear la temperatura de la mezcla base, al alcanzar la temperatura de pasteurización tomar el tiempo establecido para el tratamiento térmico.
- H. Media vez alcanzado el tiempo se detiene el ciclo de calentamiento.
- I. Iniciar de inmediato el ciclo de refrigeración para el primer enfriamiento (el procedimiento depende del equipo escogido).
- J. Controlar la disminución de temperatura en la mezcla base hasta alcanzar la temperatura óptima de incubación.
- K. Detener el ciclo de enfriamiento (o reducir la velocidad, según el equipo).
- L. Preparar el cultivo bacteriano liofilizado de acuerdo a las instrucciones del proveedor. Sino tomar la muestra de yogur natural de un lote anterior que se usará como iniciador de la fermentación.
- M. Parar el agitador, abrir el tanque y colocar cuidadosamente el cultivo bacteriano repartiéndolo equitativamente en toda la muestra.
- N. Cerrar adecuadamente el tanque y encender el agitador a velocidad lenta.
- Ñ. Monitorear que la temperatura dentro del tanque se mantenga en condiciones adecuadas. Si la temperatura baja, se permite el paso de una mayor cantidad de fluido térmico caliente, pero si aumenta se permite la circulación del fluido térmico más frío a una baja velocidad.
- O. Al terminar el tiempo de fermentación, verificar si se obtuvo el nivel de acidez deseado, de no ser así mantener las condiciones de incubación hasta alcanzarlo.
- P. Para detener la fermentación se reinicia el ciclo de refrigeración, pero con el fluido térmico a una menor temperatura y circulando a mayor velocidad.
- Q. Controlar la temperatura en el tanque alcance la temperatura de batido, para reducir la velocidad de circulación del fluido.
- R. Aumentar la velocidad de agitación dándole la consistencia deseada.

- S. Preparar la fruta pelada, partida y limpia o la mermelada.
- T. Detener la agitación y abrir la tapadera del tanque.
- U. Descargar la fruta o mermelada en el tanque, cerrar con cuidado la tapa y encender el agitador en velocidad baja para lograr un mezclado homogéneo.
- V. Esterilizar envases con agua caliente y dejar enfriar sin contaminarlos.
- W. Abrir válvula de descarga y bombear yogur hacia envasadora.
- X. Colocar el envase en la envasadora y permitir que la bomba descargue el yogur, tapar herméticamente
- Y. Identificar cada envase con número de lote, fecha de elaboración, fecha de vencimiento y tipo de yogur.
- Z. Almacenar los envases con yogur manteniéndolos en refrigeración.
- AA. Apagar el equipo del circuito de calentamiento, limpiar y esterilizar el equipo

Este **POES** variará para cada fabricante de acuerdo al tipo de yogur, el material utilizado, las condiciones del equipo, el tipo de instalaciones y de cuan familiarizados estén los operarios con el proceso.

Se debe tener en cuenta que es necesario mantener el uso de ropa apropiada y de la higiene adecuada en el manejo de los materiales y equipo a fin de evitar la contaminación del producto, y así poder garantizar al cliente un producto de calidad uniforme y seguro para su consumo.

### **3.6 Comparación del proceso actual con la propuesta del proceso tecnificado para fabricar yogur probiótico**

Finalmente, para comparar el proceso que se emplea actualmente con el proceso tecnificado, se muestran los diagramas de bloques del proceso de elaboración de yogur; confrontando detallando las diferentes operaciones del procesamiento que la leche requiere para transformarse en yogur, según la secuencia en que se realizan, indicado en la ruta principal de bloques.

También en el diagrama se enumeran las operaciones secundarias, que son necesarias para este proceso; mostradas a la derecha como entradas al proceso principal. En los pasos de preparación de ingredientes son iguales en ambos procesos, para mantener ciertas características especiales que proporciona al producto la elaboración artesanal.

Como parte de este diagrama se enfatizan las mejoras del proceso tecnificado que eliminan o minimizan las desventajas y limitantes presentadas por el proceso actual, así como el establecimiento de los puntos de control para regular y normalizar el proceso.

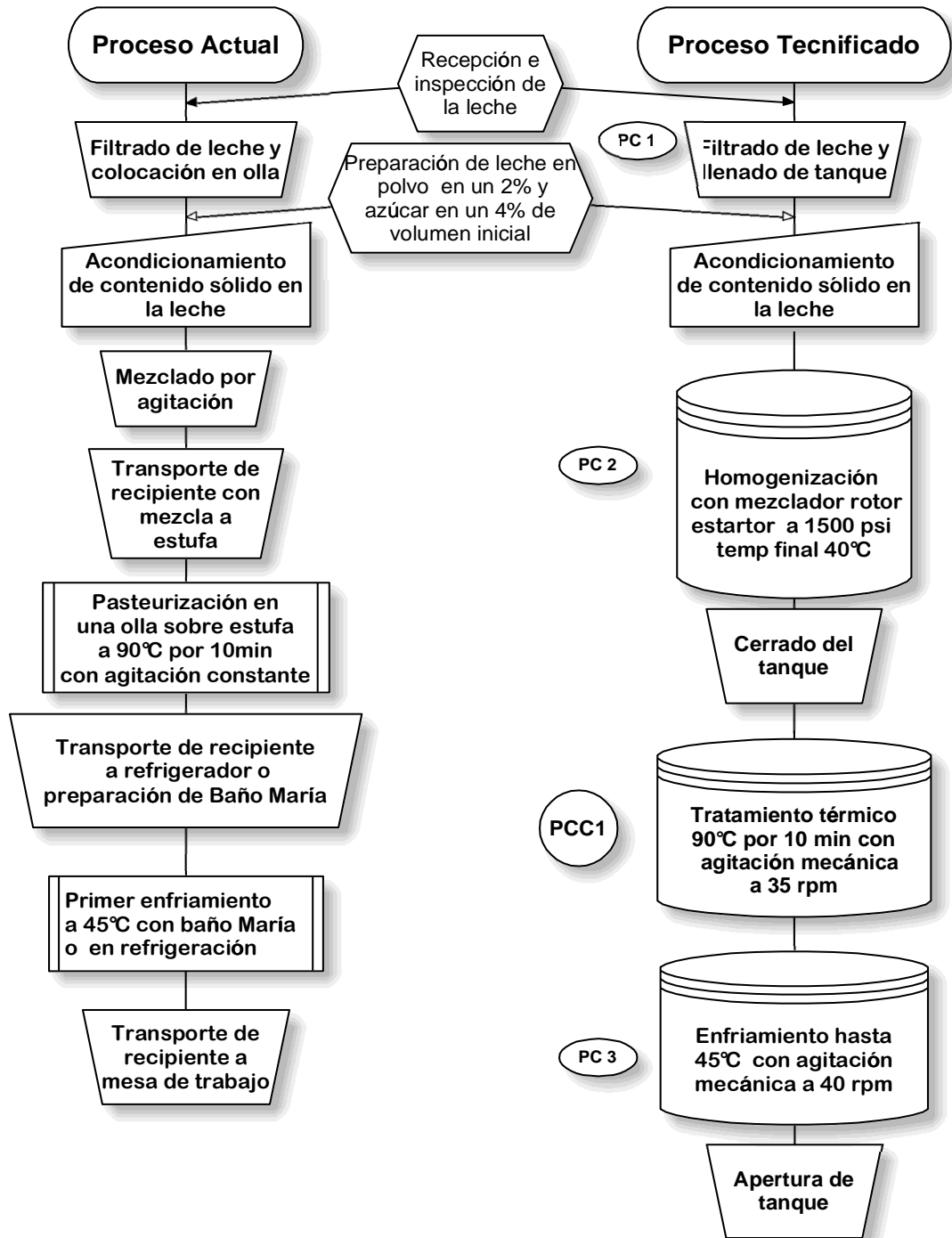
El proceso se dividió en 3 subprocesos principales que son la preparación de la mezcla base, donde la leche se prepara y esteriliza para darle las condiciones adecuadas; la siembra e incubación del cultivo bacteriano, donde se produce la fermentación ácido láctica; y el acondicionamiento del yogur, donde se da la consistencia, sabor, dosificado y almacenado.

Los puntos de control indican las variables a controlar para que el proceso sea regulado, cada punto es diferente y específico para cada etapa, en una sección posterior se detallan cada uno de ellos. La nomenclatura de los símbolos del diagrama de flujo se muestra en el anexo final.



### 3.6.1 Comparación del proceso de preparación de la mezcla base

Figura 25 Diagrama de flujo comparativo del proceso de preparación de la mezcla base



La preparación de la mezcla base es muy importante en la fabricación de yogur, pues de ella dependen muchas de las características que tendrá el producto final. Inicialmente se puede observar que el proceso tecnificado tiene una menor cantidad de pasos ya que se elimina toda necesidad de transportar la leche en cada etapa.

En el proceso tecnificado se cuantifican mejor los aditivos para regular el contenido de sólidos y se obtiene una mezcla homogénea, totalmente emulsificada, lo que evita la sinéresis del yogur cuando esta en almacenaje.

Además el uso del homogenizador facilita el proceso de pasteurización pues, por la presión a la que se somete la leche, aumenta su temperatura; reduciendo el gradiente de temperatura que se deberá superar por calentamiento.

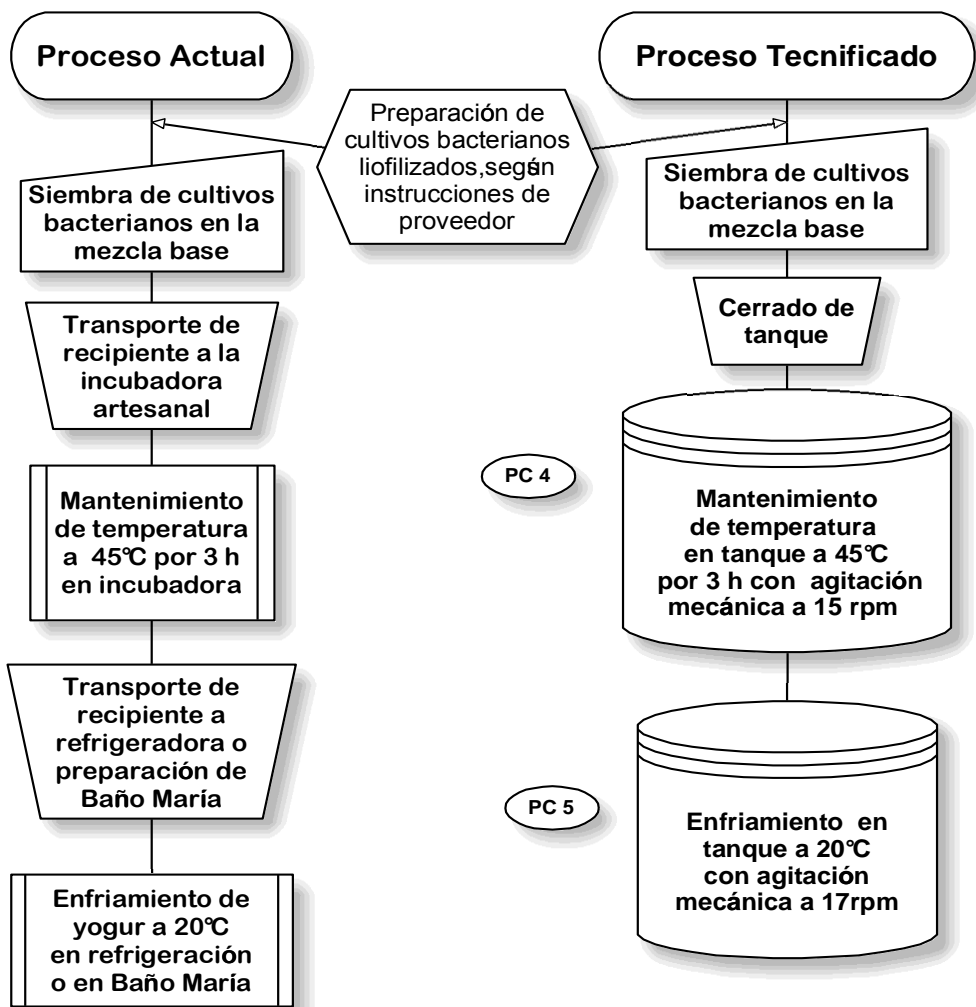
El tratamiento térmico en el proceso tecnificado asegura, por la forma en que se transmite el calor, que la temperatura será adecuada y uniforme para una esterilización completa pero sin llegar a desnaturalizar la leche; no se presentaran focos de calor ya que la distribución del calor esta distribuida sobre una mayor superficie.

El enfriamiento es parejo y a mayor velocidad, por poseer una mayor superficie de contacto y que el fluido circula constantemente; en estas etapas existe una agitación constante que asegura que las condiciones serán las mismas en cada punto de la mezcla.

Al finalizar con este subproceso la mezcla queda lista para iniciar la fermentación.

### 3.6.2 Comparación del proceso de siembra e incubación

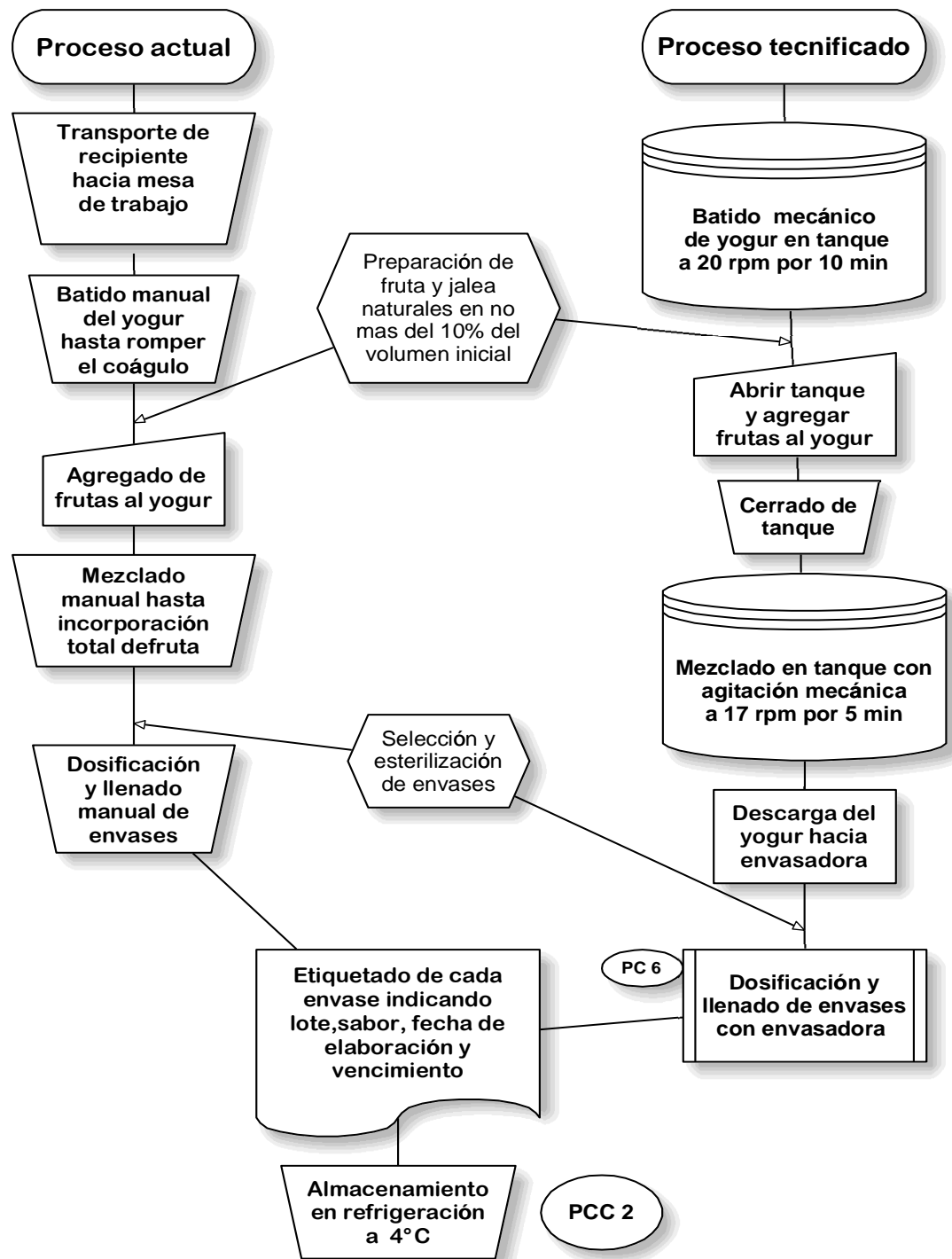
Figura 26 Diagrama de flujo comparativo del proceso de siembra e incubación



En esta parte del proceso las etapas permanecen bastante similares, ya que no importando la escala el proceso y las condiciones para lograr la fermentación son las mismas. La tecnificación solamente asegura que esas condiciones se mantengan constantes, por la agitación constante y una transferencia de calor más efectiva; además de la minimización de posibles errores, también se elimina la necesidad del transporte. Para el enfriamiento se tienen las mismas ventajas que tiene el primer enfriamiento.

### 3.6.3 Comparación del proceso de acondicionamiento final del yogur

Figura 27 Diagrama de flujo comparativo del proceso de acondicionamiento final del yogur



Esta es la parte final, donde al yogur se le da la consistencia y el sabor deseado; es sumamente importante pues estas características por las cuales es preferido por el consumidor.

El batido es más uniforme, obteniendo una consistencia similar en cada uno de los lotes; así como el mezclado de la fruta permite que esta se incorpore completamente al yogur por lo que en cada envase se encontrará la misma cantidad de fruta y no se separará luego de algún tiempo en almacenamiento.

Al envasar el producto con una envasadora, se elimina el contacto excesivo del operario con el producto; reduciendo al mínimo el riesgo por contaminación y haciendo que la dosificación en cada envase sea pareja.

Cuando se etiqueta y almacena el producto, se nota que el diagrama se unifica, esto es porque aquí ya no hay diferencia pues la forma de etiquetado y las condiciones de almacenamiento son las mismas no importando el proceso.

### **3.7 Uso del sistema *HACCP* para determinar los puntos de control en el proceso tecnificado**

#### **3.7.1 Definición y conceptos generales de *HACCP***

**HACCP**: de sus siglas en inglés *Hazard Analysis and Critical Control Points*; que en español significa Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control. **HACCP** es un documento donde se especifica claramente todas las medidas que se deben aplicar para asegurar la inocuidad alimentaria de un determinado producto obtenido de una determinada manera

Por ello no existe un plan **HACCP** general, sino que debe ser específico para cada producto, para cada línea de producción, es decir para cada proceso específico; lo que hace necesario su implementación como parte de la tecnificación del proceso de elaboración artesanal.

Un sistema **HACCP** garantizará la inocuidad del producto final enfatizando el control del proceso concentrándose en los puntos críticos donde puede existir un riesgo de contaminación. Se trata de un sistema preventivo que permitirá evitar los errores antes que sucedan; es una herramienta utilizada para proteger el yogur de peligros biológicos, químicos y físicos.

Los conceptos que se manejarán en un plan **HACCP** son:

- 1. Peligro:** Es todo elemento Físico, Químico o Microbiológico que pueda ser nefasto para el consumidor.
- 2. Riesgo:** Es la probabilidad que un peligro ocurra.
- 3. Punto Crítico de Control (PCC):** Son aquellos puntos en el diagrama de flujo donde es posible eliminar o disminuir dentro de límites aceptables un peligro.
- 4. Punto de Control (PC):** Son factores físicos, químicos o microbiológicos que pueden ser utilizados para prevenir un peligro. Dentro de estos encontramos por ejemplo pH, temperatura, concentración de sal, velocidad de agitación, etc.

El objetivo de implementar un plan HACCP es que a pesar que el peligro siempre ha sido el mismo, lo que se puede variar la probabilidad de ocurrencia del mismo, es decir minimizar el riesgo.

### **3.7.2 Puntos de control a implementar en el proceso de elaboración de yogur probiótico**

De acuerdo a lo mostrado en los diagramas de flujo de la sección 3.6 los puntos de control a implementar en el proceso tecnificado son:

- A. Recepción de la leche cruda:** Es el punto inicial de control en donde deben realizarse verificaciones inmediatas de la calidad acordadas de la leche cruda, los peligros a evitarse son cambios en color, olor, sabor y los antibióticos en la leche.
  
- B. Estandarización y preparación de la mezcla:** Primer punto de control, donde es regulado el contenido de sólidos en la leche, mediante el agregado de leche en polvo o gelatina, también se agrega azúcar de acuerdo al tipo de yogur a elaborar; se considera un punto de control ya que la cantidad de sólidos en la leche determina muchas de las características finales del yogur.
  
- C. Homogenización:** Segundo punto de control, durante la elaboración de yogur se homogeneiza la leche con el objeto de impedir la formación de nata, darle consistencia y mezclado adecuado y de mejorar el sabor.  
  
Se toma como un punto de control pues da firmeza y uniformidad al producto final, deben evitarse un mezclado inadecuado y un trabajo mecánico excesivo.

- D. Pasteurización:** Primer punto crítico de control, ya que en esta etapa es donde se eliminan todos los microorganismos patógenos; siendo indispensable para asegurar la calidad sanitaria e inocuidad del producto, se debe utilizar el tiempo adecuado para optimizar el uso del equipo. Como peligro en este punto se consideran una pasteurización inadecuada, un calentamiento excesivo y una mala distribución del calor en la mezcla.
- E. 1er Enfriamiento:** Tercer punto de control porque asegurará el obtener la temperatura óptima de inoculación, permitiendo la supervivencia de las bacterias del inóculo. El peligro en este proceso es que la temperatura final sea muy baja que evite el crecimiento bacteriano o demasiado alta que mate a las bacterias.
- F. Inoculación:** La cantidad de inóculo agregado determina el tiempo de fermentación y el nivel de acidez, con ello la calidad del producto; por eso se toma como un punto de control. Aquí se controla la proporción de las cepas que forman el cultivo y del porcentaje que se agregará a la mezcla base de manera.
- G. Incubación:** Cuarto punto de control porque, aunque ya quedo determinada la cantidad de inóculo y se alcanzó la temperatura óptima de crecimiento; aquí se debe establecer el nivel de acidez que le da al yogur su sabor característico. Por ello en esta etapa se debe de controlar el tiempo de duración de la fermentación; además en esta etapa se debe mantener la temperatura de cultivo constante, para mantener un adecuado nivel de producción de ácido láctico.



- H. 2do Enfriamiento:** Quinto punto de control, el enfriamiento se ha de realizar con la mayor brusquedad posible para evitar que el yogur siga acidificándose; este enfriamiento se ha de alcanzar como mucho en 1,5-2,0 horas. Se debe controlar la temperatura a la cual se enfría el producto para detener la fermentación y que la fermentación se alcance.
- I. Envasado:** Sexto y último punto de control, se debe controlar el cerrado hermético del envase para mantener la inocuidad del producto; además se debe que el envase y la atmósfera durante el envasado sean estériles para evitar la contaminación del yogur con mohos o levaduras que pueden echarlo a perder.
- J. Cámara refrigerada y conservación:** Es el segundo punto crítico de control, ya que la refrigeración adecuada y a la vez la conservación de la cadena de frío aseguran la calidad sanitaria desde el fin de la producción hasta las manos del consumidor. El yogur elaborado bajo condiciones adecuadas de producción se conserva, a temperaturas de almacenamiento  $\leq 6^{\circ}$  C, por un tiempo aproximado de *dos semanas*.



## CONCLUSIONES

1. Para aumentar satisfactoriamente el volumen de cada lote producido de yogur, es necesario tecnificar el proceso actual; pero para mantener las características propias del proceso artesanal, el nivel de producción debe mantenerse a pequeña escala.
2. Tecnificar el proceso artesanal de elaboración de yogur probiótico implica contar con equipo adecuado y con un proceso estándar que pueda ser controlado.
3. Se considera que el uso de un tanque multiuso tipo biorreactor enchaquetado, en el cual se puedan llevar a cabo todas las etapas del proceso; es la opción más conveniente para fabricar yogur probiótico tipo artesanal.
4. Como complemento para el funcionamiento del tanque multiuso se requiere de equipo adicional apropiado; que garantice un mezclado y agitación perfecta así como un envasado correcto del producto final.
5. Debido a la naturaleza del proceso es necesario transformar la leche en yogur, ya que un sistema eficiente de transferencia de calor es una de las mejoras que se consideran fundamentales en la tecnificación del proceso actual.

6. Para un sistema de transferencia térmica, se debe contar con el equipo adecuado para crear un circuito que permita la circulación del fluido térmico a la temperatura adecuada en el enchaquetado del tanque, a fin de lograr las condiciones necesarias para el procesamiento del yogur.
7. Se deben conocer las variables que intervienen en el proceso actual de elaboración de yogur; que son aplicables como punto de control en el proceso tecnificado.
8. Las diferentes temperaturas de operación que suceden durante la fabricación del yogur; se consideran las variables fundamentales de operación porque determinan las diferentes etapas de la elaboración de yogur.
9. Es necesario desarrollar el procedimiento de operación estándar para la elaboración de yogur; a fin de garantizar la uniformidad del producto final, optimizar el tiempo de trabajo y principalmente reducir los errores por mala operación del equipo.

## RECOMENDACIONES

1. Tratar de mantener las características del yogur probiótico elaborado artesanalmente en el producto tecnificado, para satisfacer siempre al consumidor.
2. Vigilar siempre que el manejo de las materias primas y del yogur sea higiénico, de la forma correcta y que los operarios utilicen el atuendo requerido para la manipulación de productos lácteos. Esto es para evitar la contaminación del producto y mantenerlo en condiciones aptas para su ingestión.
3. Emplear solamente materias primas de primera calidad para evitar problemas con el yogur al final del proceso y mantener el nivel del producto.
4. Adquirir el equipo correcto para asegurar un buen funcionamiento durante la operación, facilitar el mantenimiento, reducir las fallas mecánicas y alargar el tiempo de vida del equipo.
5. Ubicar el equipo en un lugar que cuente con las instalaciones sanitarias reglamentarias para el procesamiento de lácteos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 URL:[http://www.dospinos.com/dospinos/principal/EL\\_YOGUR3.pdf](http://www.dospinos.com/dospinos/principal/EL_YOGUR3.pdf)  
Junio 2007.
- 2 Documento de fichas técnicas datos útiles para la microempresa rural **Elaboración de yogur** en URL:<http://www.promer.cl> Junio 2007.
- 3 URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Yogur> Mayo 2007.
- 4 Revista digital **Autosuficiencia** sección **Yogur** artículo **El contenido del yogur** en URL:  
<http://tabloide.eurofull.com/shop/detallenot.asp?notid=370> Abril 2007.
- 5 URL: <http://www.upch.edu.pe/facien/dcbf/bioaplicada>  
**PRODUCTOS%20DE%20FERMENTACION.ppt#31** Marzo 2007.
- 6 URL:<http://fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/industrias/archivos/industrias/conferenciabioteconologialactea.pdf> Julio 2007.
- 7 URL: [http://html.rincondelvago.com/yogur\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/yogur_1.html) Marzo 2007
- 8 Pordio Sedas VT y cols. **Los probióticos y su futuro**. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 1994 vol 46 No 1 p 6-10.
- 9 Fuller, R. **Probiotics: The Scientific Basis**. Ed: Chapman and Hall, London 1992.
- 10 Lee YK, Salimen S. **The coming age of probiotics**. Trends Food Sci Tech 1995;6:241-5.

- 11 Guerin-Danan C. **Milk fermented with yoghurt cultures and Lactobacillus casei compared with yoghurt and gelled milk: influence on intestinal microflora in healthy infants.** Am J Clin Nutr 1998; 67:111-8.
- 12 Artículo **Los probióticos: Una alternativa para la salud** en URL: <http://www.monografias.com/trabajos16/probioticos/probioticos.shtml> Septiembre 2006.
- 13 URL: <http://www.geocities.com/grupoindustrialaisa/yogurt1.html> Octubre 2006.
- 14 Ficha técnica 17 **Elaboración de yogurt** en URL: <http://www.solucionespracticas.org.pe> Febrero 2007.
- 15 Leonardo Lúquez Barrera; Maria Eugenia Umaña; **Conferencia de biotecnología láctea**, Documento de apoyo en PDF.
- 16 URL: <http://html.rincondelvago.com/bacterias-en-los-yogures.html#> Febrero 2007.
- 17 FRAZIER, W. C. **Microbiología de los Alimentos.** Editorial Acribia, S.A. 3era edición Española, Zaragoza (España 1978).
- 18 JÖRGENSEN, Alfred. **Microbiología de las Fermentaciones Industriales.** Editorial Acribia. 7ma edición. Zaragoza (España 1959).
- 19 URL: <http://www.monografias.com/trabajos30/leche-kefir/leche-kefir.shtml> Noviembre 2006.
- 20 URL:[http://www.danonevitapole.com/nutri\\_views/newsletter/esp/news\\_20/sum.htm](http://www.danonevitapole.com/nutri_views/newsletter/esp/news_20/sum.htm) Septiembre 2006.



- 21 Documento en PDF **Fichas Técnicas Elaboración de Yogurt** en URL: <http://www.promer.cl> Julio 2007.
- 22 Taller de Capacitación para Microempresarios Rurales **Tecnologías Básicas de Aprovechamiento de la Leche en el Área Rural** Documento en PDF de apoyo Proyecto FIDA IICA, Nicaragua.
- 23 Revista **Autosuficiencia** artículo **Producción artesanal de yogur** en URL: <http://www.autosuficiencia.com.ar/shop/detallenot.asp?notid=55> Abril 2007.
- 24 Rhodes y D.L.Fletcher **Principios de Microbiología Industrial**. Editorial Acribia, 1969.
- 25 Documento PDF **Manual de microbiología industrial** en URL: [www.biologia.edu.ar](http://www.biologia.edu.ar).
- 26 URL: [http://www1.us.es/pautadatos/publico/asignaturas/32353/12966/BIO\\_TEC\\_06-07\\_TEMA%207.pdf](http://www1.us.es/pautadatos/publico/asignaturas/32353/12966/BIO_TEC_06-07_TEMA%207.pdf) Mayo 2007.
- 27 URL: <http://www.pirobloc.com/pirobloc.asp?Accion=Web&Ver=Piroblog&IDM=11> Enero 2007.
- 28 URL: <http://www.geocities.com/mecanicoweb/17a.htm> Enero 2007

## **Bibliografías consultadas**

### **Bibliografía principal:**

A.Y. Tamime R.K. Robinson **Yogurt ciencia y tecnología** Editorial Acribia s.a., España 1991.

### Otras bibliografías:

- 1 URL: <http://www.mundohelado.com/materiasprimas/yogur/>.
- 2 MARCOS, Ascensión. Et al. **Probióticos y salud** en: <http://www.monografias.com>.
- 3 URL: <http://www.monografias.com/trabajos36/alimentos-funcionales/alimentos-funcionales.shtml>.
- 4 Kern, Donald. **Procesos de transferencia de calor**. Cía. Editorial Continental, Vigésima Impresión, México 1987.
- 5 **Efectos de la Temperatura en Reactores Ideales Homogéneos** en URL: [http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/35/IMAGENES/texto\\_estudiante/tema%205/index.htm](http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/35/IMAGENES/texto_estudiante/tema%205/index.htm).
- 6 **Fluidos de transferencia térmica grado alimenticio** en URL: <http://www.paratherm.com/espanol/food-grade-heat-transfer-fluids.asp>
- 7 **Agitación y mezclado en tanques** en URL: <http://infocbi.izt.uam.mx/iq/Laboratorio%20de%20Operaciones%20Unitarias/Practicas%20Laboratorios/PRACTICA1.pdf>.
- 8 **Máquinas y equipos en la industria láctea** en URL: [http://www.ingec.com.ar/tanques\\_yogurt.htm](http://www.ingec.com.ar/tanques_yogurt.htm)

## **Apéndice A**

### **Selección del sistema de transferencia de calor del tanque multiuso para elaborar yogur probiótico**

#### **A.1 Selección del dispositivo de intercambio de calor en el tanque**

Para lograr un proceso óptimo en la fabricación de yogur, se debe tener una transferencia de calor eficaz, por ello se emplean intercambiadores de calor; a fin de regular las temperaturas de operación dentro de límites adecuados, y obtener una mezcla isotérmica. En los tanques no es posible mantener condiciones exactamente isotérmicas, pero pueden lograrse condiciones aproximadas; aplicando diversos métodos de intercambio de calor entre el sistema y el exterior.

Las condiciones de transferencia de calor en el tanque dependen de la superficie de transmisión del calor, del coeficiente de transmisión de calor (que puede regularse dentro de ciertos límites por factores tales como el flujo) y de la complejidad del sistema de control que sea factible térmica o económicamente.

Los dispositivos para la transmisión de calor son paredes encamisadas, serpentines internos e intercambiadores de calor externos; la elección depende de la facilidad con que se ensucie la superficie y la consiguiente frecuencia de limpieza, el área de superficie necesaria, las posibilidades de averías por las fugas del agente de transmisión de calor y la temperatura y presión del mismo.

Cuando el área de transmisión tiene un valor moderado, como en esta propuesta, resulta más conveniente el empleo de la camisa de calefacción; porque además la leche no puede entrar en contacto directo con ningún agente calefactor para no afectar su composición.

## **A.2 Selección del agente trasmisor de calor**

Ya que en esta propuesta se va a utilizar el mismo tanque para realizar múltiples etapas del proceso; el agente transmisor de calor en la camisa debe ser muy versátil, para que se pueda realizar primero el calentamiento requerido en el tratamiento térmico, luego los enfriamientos necesarios y así mismo que pueda conservar la temperatura constante durante la fermentación.

Durante el tratamiento térmico se puede inyectar vapor a la camisa del equipo, pero la desventaja es que éste puede focalizar el calor en uno de los puntos creando altas temperaturas en un solo punto; también, se le inyecta vapor al agua caliente que circula en la camisa a fin de mejorar la transferencia. El uso del vapor y de agua tiene algunos inconvenientes, como su bajo coeficiente de transmisión, bajo punto de ebullición y su alta corrosividad para con el equipo; además para el uso de vapor las calderas se requieren de instalaciones anexas de alto costo y se requiere de un sistema de tratamiento de agua. Estos inconvenientes hacen el uso de vapor y de agua inadecuado para el volumen de trabajo que trata esta propuesta.

Mientras que para enfriar, usualmente se hace circular agua fría pura o con glicol para obtener temperaturas más bajas y acelerar el enfriamiento. La desventaja de este método es la corrosión al tanque que puede crear el agua y el glicol al tanque, además se necesitaría un procedimiento especial para desechar el agua con glicol para evitar la contaminación, lo que lo hace inadecuado para un proyecto del nivel que se trata en este trabajo.

Una opción novedosa para el calentamiento, es el uso de aceites, líquidos o fluidos térmicos que circulen en la camisa; puesto que por sus características ofrece muchas ventajas que sobre el uso de agua o vapor, y también se pueden usar este tipo aceites para el enfriamiento.

Para esta propuesta considera como la mejor opción de agente de transferencia de calor el uso de un fluido térmico de grado alimenticio; por la versatilidad de poder utilizar el mismo fluido tanto en el calentamiento y los diferentes enfriamientos, al solo regular la temperatura de entrada a la camisa; y contando con un calentador y un enfriador para el fluido térmico,

### **A.3 Generalidades de los fluidos térmicos**

En la actualidad se han generado nuevos fluidos para la transferencia de calor con mejores características para mantener la temperatura, son más fáciles de manejar; se conocen como líquidos o fluidos de transferencia térmica, inicialmente llamados aceites térmicos. Se basan en aceites minerales parafínicos, altamente refinados y cuidadosamente seleccionados para proporcionar un funcionamiento superior en sistemas de transferencia térmica; pueden ser del tipo aceites minerales o con base sintética. (Ref. 28)

Los sistemas de calentamiento o transferencia de calor mediante fluido térmico se utilizan en procesos que requieran de temperaturas hasta 300° C y enfriamientos hasta -25° C manejando como fluido de transferencia aceites especiales de alta conductividad que permiten trabajar en su fase líquida sin generar presión ya que no hierven o se congelan a las temperaturas de trabajo. Se caracterizan por la elevada estabilidad térmica, buena resistencia a la oxidación, altos coeficientes de transferencia de calor, alto punto de ebullición, bajo punto de congelación, su prolongada vida útil y la posibilidad para reciclarlos; hacen de estos fluidos una mejor opción, tanto en la simplicidad de su manejo, la alta rentabilidad económica y el bajo impacto ambiental.

Los fluidos térmicos son ideales para lograr temperaturas extremas de proceso con un bajo margen de riesgo a las personas y equipos, superando en muchos aspectos al vapor. Se emplean en diversos procesos industriales, pues no se requieren de instalaciones anexas y las presiones de trabajo de la bomba son sólo aquéllas necesarias para vencer las pérdidas de carga del sistema. Si bien el fluido térmico es más caro que el agua, éste circula en un circuito cerrado, sin pérdidas y por un período de varios años, minimizando los costos de mantenimiento y operación, dando una recuperación del capital invertido al cabo del tiempo.

Si la transferencia de calor, sea calentamiento o enfriamiento, se lleva a cabo en un sistema cerrado, el fluido nunca está en contacto con el proceso y sólo se constituye en la fuente de energía para éste.

### **A.3.1 Equipo para el calentamiento de fluido térmico**

Una central de calentamiento de fluido térmico se compone del calentador propiamente tal, con un quemador de gas o petróleo (véase Figura 28), las bombas de recirculación que mueven el fluido y la red de distribución hacia la planta. Las redes construidas y los elementos de transferencia de calor son mucho más sencillos, que los que se usan para vapor.

**Figura 28 Calentador para fluido térmico**

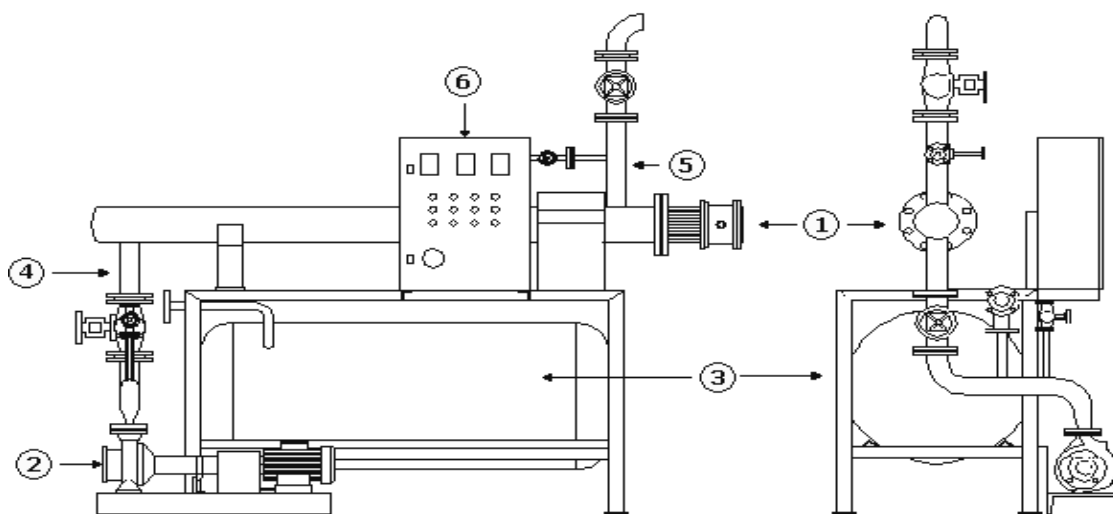


Fuente:<http://www.calormatica.cl/flui001.htm>

Ya que éstos que no están expuestos a presiones excesivas ni a corrosión, teniendo todo el sistema una vida útil mucho más larga y generando importantes economías al evitar detenciones, reparaciones y/o sustitución de elementos.

Este tipo de calderas (fig. 29) son diseñadas para evitar el efecto cracking y tener una vida útil realmente duradera; tienen una máxima precisión de temperatura:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , con un escalonamiento de potencia con control electrónico independiente de cada escalón y un panel eléctrico integrado, siendo su instalación más sencilla que una caldera convencional. Pueden alcanzar temperaturas de hasta  $300^{\circ}\text{C}$ , con un rango de potencia de 30 – 500 kW, pueden tener capacidades de 25.800– 430.000 kcal/h, el voltaje a utilizar es de 400V, III, 50/60 Hz.

**Figura 29 Caldera eléctrica compacta para fluido térmico**



1) Cabezal de resistencias eléctricas. 2) Bomba de recirculación. 3) Deposito de recogida. 4) Entrada de fluido térmico. 5) Salida de fluido térmico. 6) Panel de control eléctrico.  
Fuente: <http://www.pirobloc.com/>

Una de las ventajas de esta caldera es que la presión de trabajo es la atmosférica, las resistencias de son de acero inoxidable de 321 con aislamiento de polvo de magnesio; el control de la temperatura se realiza por un termómetro/termostato electrónico, y el sistema de seguridad incluye válvula de seguridad por presión y termostato de seguridad. El depósito debe ser fabricado en acero/carbono con aislamiento de lana de roca, montado en chasis tubular, en chapa con pintura de epóxidos acabado al horno. Además debe contar con señalamiento óptico para indicar el correcto funcionamiento, y un contador de consumo (kW/h).

Debido a las características de esta propuesta el fluido térmico no se necesita calentar a grandes temperaturas, ni durante mucho tiempo, puede emplearse otro medio para calentarlo. Por ello utilizar un calentador por resistencias eléctricas es lo más aconsejable, ya que solo se calentara un volumen determinado para el calentamiento y a una temperatura uniforme; evitando así el tener gases de chimenea y riesgos de contaminación e incendio.

### **A.3.2 Dispositivos para enfriamiento del fluido**

Para el enfriamiento del fluido térmico se utiliza un intercambiador, de placas soldadas, pues debido a sus características se considera la mejor opción para disminuir la temperatura. Como refrigerante se puede utilizar primero agua fría, y luego una mezcla de un refrigerante comercial, para alcanzar la temperatura más baja de del segundo enfriamiento; así se elimina la necesidad de costosos equipos de manipulación de aire.

Este tipo de intercambiador incluye un ensamblaje vertical de placas de acero inoxidable soldadas llamado “banco de placas”, y un alimentador de descarga de flujo másico que está instalado debajo del banco de placas.



El fluido térmico pasa lentamente a través de los canales verticales entre las placas del intercambiador de calor para lograr un enfriamiento uniforme, las cuales se encuentran separadas para garantizar un flujo confiable; todo el material se mueve a velocidad constante por toda la sección transversal del intercambiador de calor.

El refrigerante fluye dentro de las placas de acero inoxidable soldadas para enfriar el fluido a medida que pasa por allí, un alimentador diseñado especialmente está instalado debajo del banco de placas para controlar el volumen de descarga del producto y lograr el flujo másico a través del equipo.

Esto da como resultado una secuencia ***first-in-first-out*** (primera entrada, primera salida), elemento importante en el diseño del intercambiador de calor.

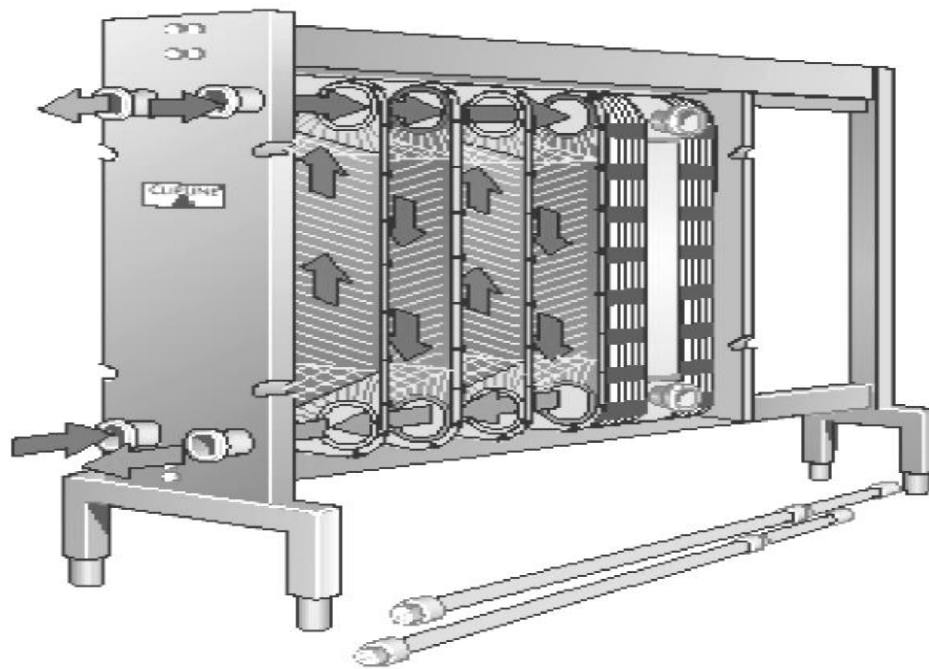
Para lograr una eficacia máxima, el refrigerante fluye a contra corriente del flujo del fluido térmico, la configuración vertical de las placas del intercambiador de calor proporciona una amplia superficie de transferencia de calor en una unidad compacta, este método indirecto de transferencia de calor mantiene la calidad del aceite por más tiempo.

Los bancos de placas múltiples se pueden montar en un solo equipo, esta configuración funciona con una eficacia térmica más alta compensando las placas del intercambiador de calor en cada banco.

Las placas del intercambiador de calor están completamente soldadas, no requieren empaquetaduras y están disponibles en acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión para adaptarse a las condiciones del proceso; tienen un perfil bajo con superficies de transferencia de calor lisas y uniformes resistentes de manera excepcional a la suciedad.

Además están instaladas en una carcasa rígida con puertas de acceso que permiten una fácil limpieza e inspección; las conexiones a los distribuidores de la tubería se fabrican en el exterior de la carcasa con tubería de acero inoxidable. El esquema de este intercambiador se muestra en la figura 30

**Figura 30 Intercambiador de placas para enfriamiento de fluido térmico**



Fuente: <http://www.hipotesis.com.ar/hipotesis/Agosto2001/Catedras/Lecheria.htm>

### **A.3.3.3 Características del fluido térmico recomendado para aplicar en esta propuesta**

El fluido de transferencia térmica de alcance medio Paratherm MG™ es no aromático, no tóxico y tiene un alcance efectivo de  $-101^{\circ}\text{C}$  a  $260^{\circ}\text{C}$  ( $30^{\circ}\text{F}$  a  $500^{\circ}\text{F}$ ); eficiente a través de toda la gama de temperaturas, térmicamente estable y además muy rentable.

Diseñado para control de temperatura en una amplia variedad de usos tales como reactores de lotes, Paratherm MG™ es resistente y durable. Además es seguro de utilizar y fácil de desechar, pues el fluido ya usado se puede combinar con seguridad con aceites lubricantes gastados y reciclar.

Paratherm MG™ no contiene ningún hidrocarburo tratado con cloro, y prácticamente ningún compuesto polar, sulfuro, óxido de nitrógeno o metal pesado; cuenta con la certificación HT1 de la NSF (USDA H-1) para contacto incidental con alimentos; no produce irritación al entrar en contacto con la piel, como ocurre con los fluidos convencionales.

Es seguro de usar, si ocurre un derrame, puede ser tratado usando los mismos procedimientos simples de limpieza usados con aceites lubricantes; a diferencia de otros fluidos utilizados para calor/frío, Paratherm MG™ no emite ningún olor acre o nocivo.

Tiene una presión de vapor extraordinariamente baja (una fracción de una atmósfera) en su máxima temperatura de operación 550°F (288°C); esta baja presión de vapor le permite al diseñador mayor flexibilidad a la hora de escoger equipos más económicos que no requieran ser presurizados para prevenir la ebullición del fluido y la cavitación de la bomba

A menor viscosidad de un fluido de transferencia térmica, menor será la energía requerida para bombearla a través del sistema, la viscosidad de Paratherm MG™ está entre las más bajas dentro de los fluidos de transferencia térmica de calor/frío disponibles; esto significa que se requieren bombas y motores más pequeños para diversas aplicaciones y adicionalmente que se generarán ahorros dado el menor consumo de energía, usando Paratherm MG™, dado que el fluido es químicamente inerte, no atacará juntas ni sellos.

Los tambores del fluido de transferencia térmica se deben mantener en áreas secas no-peligrosas, los sellos de seguridad deben mantenerse intactos hasta que el fluido esté listo para usar; no se debe permitir acumulación de líquidos sobre las tapas de los tambores.

Si los tambores temporalmente deben ser almacenados fuera, se deben almacenar de forma horizontal.

## Apéndice B

### Determinación del consumo de potencia del agitador

La potencia introducida al sistema de mezclado en la elaboración de yogur por medio de un agitador se determina por su velocidad de rotación, la configuración del mezclador y las propiedades físicas de la mezcla; por medio de un análisis dimensional se pueden relacionar estos parámetros a la potencia requerida. Las variables que pueden ser controladas y que influyen en la potencia consumida por el agitador son:

Diámetro del tanque ( $D_J$ ).

Diámetro del agitador ( $D_a$ ).

Altura del líquido ( $z$ ).

Distancia del fondo del tanque hasta el agitador ( $B$ ).

Dimensiones de las paletas.

Viscosidad ( $\mu$ ).

Conductividad térmica ( $\kappa$ ).

Densidad ( $\rho$ ) de la mezcla.

Velocidad de giro del eje del agitador ( $N$ ).

Primero se define el número adimensional de **Reynolds** modificado para la agitación; siendo el número de Reynolds = esfuerzo de inercia / esfuerzo cortante:

$$Re_J = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

[Ecuación 9]

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia; éstas dependerán de las características geométricas del agitador.

Para evitar el uso de gráficas, **D. Kern** propone para calcular la demanda de potencia en **hp** del agitador, al aplicar la ecuación dimensional propuesta por **White**.

$$hp = 1.29 \times 10^{-4} D_J^{1.1} D_a^{2.72} N'^{2.86} y^{0.3} z^{0.6} \mu'^{0.14} \rho^{0.86} \text{ [Ecuación 10]}$$

Donde:

**N'**= Velocidad del agitador en revoluciones por segundo.

**y**= Ancho de agitador en pies.

**μ'**= Viscosidad en libras /pie-segundo.

Estas ecuaciones son válidas para agitadores localizados centralmente con **Da > 0.3Dj** y con una altura **< Da/6**.

## Apéndice C

### Métodos para determinar la cantidad de crecimiento bacteriano

Para determinar el crecimiento bacteriano se pueden utilizar diferentes métodos, ya sean directos o indirectos, los tres principales métodos directos son:

**A. La cuenta directa al microscopio:** Donde se utiliza la cámara de Petroff-Hausser y se cuentan directamente las bacterias presente en una muestra dada, posteriormente esta cuenta se multiplica por un factor para finalmente determinar el número de bacterias/ml.

**B. La cuenta viable:** En la cual se realizan diluciones de la muestra original y una alícuota de éstas se siembra en el medio de cultivo adecuado, expresándose el resultado como el número de bacterias o unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml) según sea el caso.

**C. La medición de la turbidez:** La cual puede efectuarse debido a que las bacterias absorben y desvían cierta cantidad de luz, permitiendo de esta forma medir el grado de turbidez del cultivo. Esto último se realiza con la ayuda de un fotocolorímetro con un filtro rojo o azul o un espectrofotómetro y la lectura se expresa en unidades de absorbancia. Para organismos unicelulares la absorbancia es proporcional al número de células.

Dentro de los métodos indirectos, se pueden mencionar:

1. La medición de algún componente celular, como las proteínas o el ATP.
2. La medición del consumo de la fuente de carbono del medio de cultivo.
3. La medición en el cambio de algunas variables fisicoquímicas como el pH.



## Anexo 1

**Tabla III Cuadro de clasificación de los lactobacilos**

		Homofermentativos							Heterofermentativos	
		Termófilos					Mesófilos		Termófilo	Mesófilo
		Helveticus	Jugurti	Bulgaricus	Lactis	ÁcidoPhilus	casei	Plantarum	Fermentis	B revis
Cultivo a	15°	-	-	-	-	-	+	+	-	+
	45°	+	+	+	+	+	-	-	+	-
Resistencia	60° / 90 min	+		-	+	-	-	-	-	-
	65° / 30 min	-		-	+	-	-	-	-	-
Ácido (%) en la leche		2,7	2,7	1,7	1,7	0,8	1,2 – 1,5	0,3 – 1,2	0,5	0,5
Tipo de ácido láctico		DL	DI	D	D	DL	L	DL	DL	DL
Producción de	CO <sub>2</sub> (azúcares)	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	NH <sub>3</sub> (arginina)	-	-	-	-	-	-	-	+	+

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos15/lactobacilos/lactobacilos.shtml>



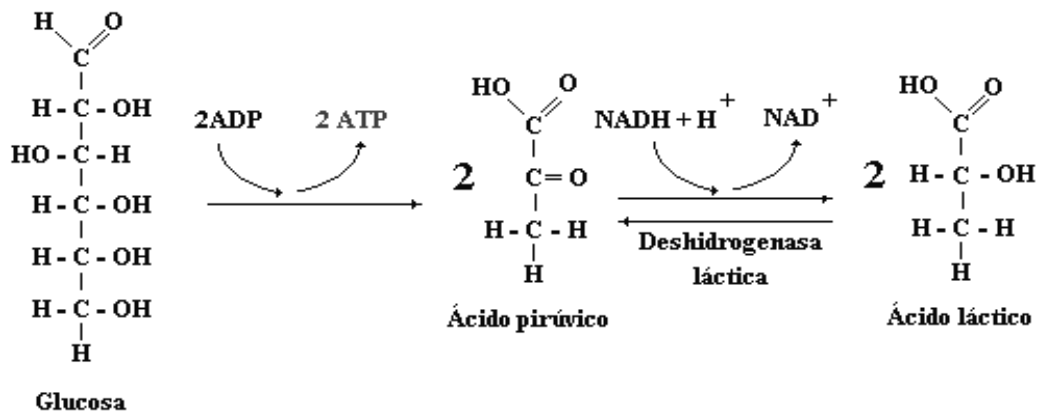
## Anexo 2

### Fundamentos de fermentación ácido láctica

Este proceso tiene importancia industrial ya que se utiliza en la fabricación de yogur. La fermentación láctica es efectuada por las bacterias que normalmente se encuentran en la leche, o puede ser inducida en forma de cultivos liofilizados de inoculación directa; los *Lactobacillus* que utilizan la fermentación láctica para obtener energía.

El proceso que origina a partir de los azúcares de la leche transformando la lactosa de la leche en glucosa y posteriormente en ácido láctico principalmente y pequeñas cantidades de productos secundarios. A continuación se muestra el diagrama de la reacción para formar el ácido láctico a partir de la glucosa.

Figura 31 Esquema de la reacción de fermentación ácido láctica



En condiciones de ausencia de oxígeno (anaerobias), la fermentación responde a la necesidad de la célula de generar la molécula de **NAD<sup>+</sup>**, que ha sido consumida en el proceso energético de la glicólisis.

En la glicólisis la célula transforma y oxida la glucosa en un compuesto de tres átomos de carbono, el ácido pirúvico, obteniendo dos moléculas de **ATP**; sin embargo, en este proceso se emplean dos moléculas de **NAD+** que actúan como aceptores de electrones y pasan a la forma **NADH**.

Para que puedan tener lugar las reacciones de la glicólisis que producen energía es necesario restablecer el **NAD+** por otra reacción.

Fuente: [http://www.danonevitapole.com/nutri\\_views/searchArchives/index.html](http://www.danonevitapole.com/nutri_views/searchArchives/index.html)

## Anexo 3

### Caracterización de una planta modelo de producción industrial de yogur

Tabla IV Maquinaria y equipo en una planta industrial que produce 1 tonelada yogur por lote

ITEMS.	No. DE MÁQUINAS
Recipiente de mezcla (1,000 litros)	1
Medidor de descarga.	3
Sistema de esterilización (100-200 litros).	2
Esterilizador HTST.	2
Esterilizador UHT.	1
Homogenizador.	2
Máquina llenadora.	1
Suturador	1
Empaquetador.	1
Tanque mezclador (2,500 litros).	3
Tanque de fermentación (2,500 litros).	4
Tanque almacenador de producto final.	4

Los gastos de la planta mencionada por cada lote fabricado son 20 litros de combustible, 159 Kwh. de electricidad y 8.5 metros cúbicos de agua refrigerada por día.

**Tabla V      Requerimiento mínimo de mano de obra para producción industrial de yogur**

<b>CLASIFICACIÓN DEL TRABAJO</b>	<b>No. DE PERSONAS</b>
Mezcla.	1
Fermentación	1
Esterilización	1
Llenado	1
Empaquetado	2
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>

Una planta equipada con la maquinaria y equipo descritos, operando 3 turnos de 8 horas diarias, 25 días al mes, podría ser capaz de producir 1,200 toneladas de yogur por mes. La localización de la planta tiene un efecto importante en la rentabilidad y en otros factores que pueden limitar su campo de acción.

Por lo tanto, al seleccionar un lugar donde ubicar la planta se deben tomar en consideración la facilidad de obtener suministros permanentes y baratos, caminos y medios de transporte confiables, disponibilidad de mano de obra calificada, servicios de agua, combustible y electricidad y ubicación en una zona popular con una alta demanda de yogur.

**(Fuente:<http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=074&fdname=FOOD+MANUFACTURING&pagename=Planta+de+produccion+de+yogurt>)**

## **Anexo 4**

### **Uso de sensores para el control de variables en el proceso de elaboración de yogur**

El sensor es un dispositivo que detecta, o siente, manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la temperatura, siendo un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro elemento. Un sensor es una clase de transductor, pues transforma la magnitud que se quiere medir en otra para facilitar su medida; pueden ser de indicación directa (termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador o una pantalla) de modo que los valores sensados puedan ser leídos fácilmente.

#### **Sensores para el control de temperatura**

Los sensores utilizados para medir la temperatura son el termopar y la termoresistencia; un termopar es un circuito formado por dos metales distintos que produce un voltaje que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" y el otro denominado "punto frío".

La unión entre dos metales genera un voltaje que es función de la temperatura, los termopares funcionan bajo este principio, pero no es posible conectar un voltímetro al termopar para medir este voltaje; porque la conexión a las guías del voltímetro hará una segunda unión no deseada.

Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas; su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado centígrado son difíciles de obtener; para realizar mediciones precisas se debe compensar al usar una técnica conocida como compensación de unión fría (CUF); por lo general, la temperatura de la unión fría es detectada por un termistor de precisión en buen contacto con los conectores de salida del instrumento de medición; esta segunda lectura de temperatura, junto con la lectura del termopar es usada por el instrumento de medición para calcular la temperatura verdadera en el extremo del termopar; la comprensión de la compensación de unión fría es importante; cualquier error en la medición de la temperatura de la unión fría terminará en el error de la temperatura medida en el extremo del termopar.

Mientras que un termistor es una resistencia eléctrica que varía su valor en función de la temperatura; existen dos clases de termistores: **NTC** y **PTC**. Un termistor **NTC** (*Negative Temperature Coefficient*) es una resistencia variable cuyo valor va decreciendo a medida que aumenta la temperatura; son resistencias de coeficiente de temperatura negativo, constituidas por un cuerpo semiconductor cuyo coeficiente de temperatura es elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura, donde la relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal sino exponencial. Un termistor **PTC** (*Positive Temperature Coefficient*) es una resistencia variable cuyo valor se ve aumentado a medida que aumenta la temperatura.

Hasta un determinado valor de voltaje, la relación **I/V** sigue la ley de Ohm, pero la resistencia aumenta cuando la corriente que pasa por el termistor PTC, provocando un calentamiento y se alcanza la temperatura de conmutación; la característica **I/V** depende de la temperatura ambiente y del coeficiente de transferencia de calor con respecto a dicha temperatura ambiente.



Eventualmente el termistor PTC pierde sus propiedades y puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llega a ser demasiado alta, por eso las aplicaciones de un termistor PTC están, restringidas a un determinado margen de temperaturas.

Fuente: <http://www.temperatures.com/sensors.html>

### **Sensores para la medición del pH**

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidrógeno. El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado. La fuerza electromotriz (fem) producida por el sistema electroquímico varía linealmente con el pH. Las mediciones de pH varían con la temperatura en dos formas: por efectos mecánicos causados por cambios en las propiedades de los electrodos y por efectos químicos producidos por alteración de las constantes de equilibrio. Se debe reportar siempre la temperatura a la cual se mide el pH, aunque la mayoría de los instrumentos de medida del pH están equipados con compensadores de temperatura que corrigen los errores del primer tipo, pero la medición sólo puede mostrar el pH a la temperatura de la medida.

El instrumento de medida del pH está constituido por un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un mecanismo compensador de temperatura; cuando se sumergen los electrodos en la solución se completa el circuito.

Muchos medidores de pH pueden realizar lecturas en escalas de pH o de milivoltios; para trabajos de rutina se pueden usar instrumentos con exactitud y reproducibilidad de 0,1 unidades de pH en un rango de 0 a 14 y equipados con un compensador de temperatura.

El electrodo de referencia, consiste en una semicelda que provee un potencial de electrodo constante; los más comúnmente usados son electrodos de calomel y plata: cloruro de plata. Seguir las recomendaciones del fabricante para el uso y cuidado del electrodo de referencia, llenar los electrodos no sellados con el electrolito correcto hasta el nivel debido y asegurarse de que la unión esté humedecida. Al electrodo sensor se le llama electrodo de vidrio, pues es un bulbo de vidrio especial que contiene una concentración fija de HCl o una solución tamponada de cloruro en contacto con un electrodo de referencia interno.






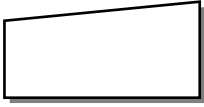



Los electrodos combinados incorporan los electrodos de vidrio y de referencia en uno solo. El electrodo de vidrio está libre de interferencias debidas a color, turbidez, material coloidal, se limpian suavemente con un paño o mediante lavado con detergente y enjuague con agua destilada; puede ser necesario un tratamiento adicional con solución acuosa de HCl para remover la película remanente.

También se puede medir de forma aproximada el pH de una disolución empleando indicadores, ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH, como la fenolftaleína; generalmente se emplea papel indicador, que se trata de papel impregnado de una mezcla de indicadores.

Fuente: [http://www.drcalderonlabs.com/MetodosAnalisis/Determinacion\\_del\\_pH.htm](http://www.drcalderonlabs.com/MetodosAnalisis/Determinacion_del_pH.htm)

## Anexo 5

Figura 32 Nomenclatura de los diagramas de flujo

Símbolo	Significado
	Recepción / ingreso de materiales
	Proceso
	Proceso predefinido en recipiente (olla)
	Recepción de materia prima
	Proceso manual
	Entrada manual
	Proceso en el tanque
	Etiquetado y documentado
	Punto de control