



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

“Evaluación del efecto de diversos estabilizantes en la reología del
yogur tipo uno con frutilla”.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

Ingeniero en Alimentos.

Autor:

Leonardo Rodrigo Yaguana Zabala.

Director:

Ing. Claudio Sánchez Jáuregui.

Cuenca - Ecuador

2008

DEDICATORIA

“La esperanza que se dilata aflige el alma: pero es como árbol de vida el buen deseo de que se cumpla”.

[Pr. 13,12]

Dedicado a mis padres que fueron, son y serán el árbol de vida que me cobija.

AGRADECIMIENTO.

Un agradecimiento especial a mis profesores, a mi familia y amigos, este trabajo lleva parte de ustedes, pero sobre todo a tí que fuiste el guía, el camino y el caminante gracias Dios por estar siempre conmigo.

RESUMEN.

El presente trabajo tuvo como objetivo el desarrollo de un programa de estandarización, para regular el contenido graso de la leche en un 3% en su composición final; para la obtención de una mezcla base de yogur. Mediante un modelo de diseño experimental se determinaron las cantidades óptimas de los estabilizantes usados en la mezcla. Con el uso de pruebas de sinéresis a diferentes temperaturas, mediante un viscosímetro capilar, se determinó una influencia significativa de los estabilizantes en el aumento de la viscosidad de las muestras analizadas. El resultado de esta investigación fue el desarrollo de una mezcla de estabilizantes para garantizar características sensoriales y vida útil en estante óptima del producto terminado.

ABSTRACT.

The aim of the present work was to develop a standardization program to regular the fat content of milk in 3% of final composition, in a base mixture used in yogurt formulation. An experimental design model was developed to es

tablish the optimum quantities of stabilizers for the mixture. Using synergistic assays, at different temperatures by means of a capillary viscosimeter, we determined a significative influence of the stabilizers in the viscosity rise of the samples analyzed. As a result of the research, an optimum mixture of stabilizer was developed to guarantee the sensorial features and shelf life of the final product.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de anexos.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: ESTANDARIZACIÓN	
Introducción.....	2
1.1 Leche. Composición química.....	3
1.2 Características físicas.....	3
1.3 Microorganismos.....	4
1.4 Estandarización del contenido graso de la leche.....	4
1.4.1 Método del cuadro de Person.....	4
1.4.2 Método de balance de materia.....	5
1.4.3 Descremado.....	5
1.4.4 Centrifugación.....	6
1.5 Estandarización del extracto magro de la leche.....	6
1.5.1 Adición de leche en polvo.....	6
1.5.2 Adición de suero de leche en polvo.....	7
1.5.3 Adición de caseína en polvo.....	7
1.5.4 Concentración por evaporación.....	7
1.6 Programa de estandarización.....	8
1.6.1 Estandarización de leche cruda.....	8
1.6.2 Estandarización de yogur.....	8
1.7 Uso del programa de estandarización.....	9
1.7.1 Estandarización de leche cruda.....	9

1.7.2 Estandarización de yogur.....	11
1.8 Análisis de las muestras de leche.....	11
1.8.1 Resultados de los análisis de las muestras de leche.....	12
1.8.2 Resultados de las pruebas de estandarización de leche cruda.....	14
1.9 Mejoramiento del programa de estandarización.....	14
Conclusiones y Recomendaciones.....	17

CAPÍTULO II: ELABORACIÓN DE YOGUR TIPO UNO CON FRUTILLA

Introducción.....	18
1.1Diseño experimental.....	19
2.1.1El propósito del diseño experimental.....	19
2.1.2Diseño de PLackett – Burman.....	19
2.2 Los Estabilizantes.....	20
2.2.1 Solubilidad y disolución de los estabilizantes.....	21
2.2.1.1 Propiedades reológicas.....	21
2.2.1.2 Interacción con la proteína.....	22
2.2.1.3 Efectos de la caseína.....	22
2.2.2 Características de los estabilizantes.....	23
2.2.2.1 Goma arábica.....	23
2.2.2.2 Alginato de sodio.....	23
2.2.2.3 Carboximetilcelulosa.....	24
2.2.2.4 Pectina.....	25
2.3 Elaboración de yogur.....	25
2.3.1 El yogur.....	25
2.3.1.1 Tipos de yogur.....	25
2.3.2 Selección de la leche cruda.....	28
2.3.3 Pasteurización.....	28
2.3.4 Incubación.....	28
2.3.5 Bioquímica de la fermentación.....	29
2.3.5.1 Metabolismo de los carbohidratos.....	30

2.3.5.1.1 Rutas metabólicas.....	30
2.3.5.1.2 Producción de ácido láctico.....	30
2.4 Adición de fruta.....	31
2.4.1 Frutas confitadas.....	31
2.4.2 Frutas congeladas.....	31
2.4.3 Frutilla.....	31
Conclusiones y Recomendaciones.....	32

CAPÍTULO III: EFECTOS DE LOS ESTABILIZANTES EN LA REOLOGÍA DEL YOGUR TIPO UNO CON FRUTILLA

Introducción.....	33
3.1 Reología.....	34
3.1.1 Aplicaciones del estudio de la reología.....	34
3.1.2 Características reológicas.....	35
3.1.2.1 Viscosidad.....	35
3.1.2.1.1 Tipos de viscosidad.....	36
3.1.2.1.1.1 Fluidos newtonianos.....	38
3.1.2.1.1.2 Fluidos no newtonianos.....	39
3.1.2.1.1.3 Fluidos viscoelásticos.....	39
3.1.2.2 Sinéresis.....	39
3.1.3 Materiales y métodos.....	40
3.1.3.1 Pruebas de viscosidad.....	41
3.1.3.2 Pruebas de sinéresis.....	43
3.1.4 Resultados.....	43
Conclusiones y Recomendaciones.....	49

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Introducción.....	50
4.1 Análisis sensorial.....	50
4.1.1 La vista.....	51
4.1.2 El olfato.....	51

4.1.3 El gusto.....	51
4.1.4 El tacto.....	51
4.1.5 El oído.....	51
4.1.6 Propiedades sensoriales.....	52
4.1.6.1 El color.....	52
4.1.6.2 El sabor.....	52
4.1.6.3 Textura.....	52
4.1.7 Las pruebas sensoriales.....	52
4.1.7.1 Pruebas afectivas.....	53
4.1.7.2 Pruebas de aceptación.....	53
4.1.7.3 Pruebas de medición del grado de satisfacción.....	53
4.1.7.3.1 Tipos de escalas hedónicas.....	53
4.1.7.3.1.1 Escala hedónica gráfica.....	53
4.1.7.3.1.2 Escala hedónica verbal.....	54
4.1.8 Resultados.....	54
4.2 Vida útil.....	55
4.2.1 Análisis de vida útil.....	56
4.3 Análisis microbiológico.....	58
4.4 Mejoramiento en el proceso de elaboración de yogur.....	59
4.5 Automatización del proceso.....	62
Conclusiones y Recomendaciones.....	63
CONCLUSIONES GENERALES.....	64
Bibliografía.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo 1	
Norma INEN para leche cruda.....	68
Anexo 2	
Norma INEN para leches fermentadas.....	73
Anexo 3	
Programa de estandarización.....	79
Anexo 4	
Resultados de las pruebas de estandarización.....	80
Anexo 5	
Estructura y propiedades de la goma xantano.....	93
Anexo 6	
Estructura y propiedades de los alginatos.....	84
Anexo 7	
Estructura y propiedades de las pectinas.....	85
Anexo 8	
Formulación para las muestras de yogur.....	86
Anexo 9	
Resultados de las pruebas de viscosidad.....	89
Anexo 10	
Escala hedónica de tres puntos.....	95
Anexo 11	
Resultados gráficos de las encuestas.....	119
Anexo 12	
Gráficos de las curvas de acidez en el tiempo.....	120
Anexo 13	
Resultados de las pruebas microbiológicas.....	121

Yaguana Zabala Leonardo Rodrigo

Trabajo de Graduación

Ing. Claudio Sánchez Jáuregui

Julio 2008

“Evaluación del efecto de diversos estabilizantes en la reología del yogur tipo uno con frutilla”

INTRODUCCIÓN

Uno de los atributos de la calidad más importantes del yogur es su textura, particularmente sus características de consistencia y viscosidad, las cuales pueden determinar su aceptación o rechazo por parte de los consumidores. Uno de los principales problemas al momento de la elaboración del yogur, es la diferencia casi diaria que presentan las características de la leche utilizada en la producción; la suspensión de la fruta es otro problema que los fabricantes de este tipo de producto deben enfrentar; con el objetivo de mejorar y presentar una solución a esta serie de dificultades una evaluación del efecto de diversos estabilizantes en la reología del Yogur Tipo Uno con Frutilla, apoyada en un programa de estandarización de leche cruda, que además incluye un formato para generar una formulación adecuada para cada uno de los componentes que forman parte en la elaboración de yogur, un modelo de diseño experimental que define valores y combinaciones de los diferentes estabilizantes al igual que la cantidad de jarabe de sacarosa, en la reología, un viscosímetro capilar para las pruebas de viscosidad, muestras sometidas a diferentes temperaturas, con una filtración posterior para determinar el porcentaje de sinéresis en cada una, mientras que un análisis sensorial y de vida útil del producto identifica la muestra que mantiene sus características aceptables durante el periodo de almacenamiento; determinando de esta forma soluciones adecuadas para los problemas antes, durante y después de la elaboración de Yogur Tipo Uno con Frutilla.

Capítulo I

ESTANDARIZACIÓN.

Introducción.

El objetivo principal de la estandarización dentro de la producción de yogur, es brindar al consumidor un producto que mantenga sus características estables, según los estándares de calidad, permitiendo identificarlo frente a la competencia, lo cual implica que el cliente se identifique con el producto y mantenga su fidelidad a la marca, por su parte la empresa está en la capacidad de ofrecer el mismo producto sin alteraciones de ningún tipo.

La leche de vaca que generalmente es la materia prima de mayor importancia en la elaboración de yogur, presenta características que dependen de diferentes factores como la alimentación, los cuidados, la edad de los animales, entre otros. Con el desarrollo de este capítulo determinaremos el método más sencillo para la estandarización de la leche; mediante una hoja de cálculo diseñada de tal forma nos arroje resultados adecuados para la obtención de una leche estándar, esta hoja esta basada en la estandarización de dos puntos importantes que se debe tener en cuenta al momento de la elaboración del yogur, que es su materia grasa y su contenido de sólidos totales.

El método de Pearson es una manera sencilla y rápida de estandarizar la materia grasa, con la complementación de un balance de materia que nos permita mantener en los márgenes adecuados la cantidad de sólidos totales presentes y adicionados a la leche destinada para la producción de yogur.

Para complementar el estudio elaboramos una versión del programa de estandarización utilizando un lenguaje de diálogo programado en una hoja de MATLAB, que es un programa más preciso y de fácil manejo, en el cual se mantiene una interacción maquina operador por medio de la cual se definen los parámetros para el desarrollo de la estandarización.

1.1 La leche. Composición química.

Para producción de yogur se utiliza en nuestro medio principalmente leche de vaca. La leche de vaca es un líquido blanquecino o amarillento segregado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos; la vaca produce leche aproximadamente 300 días posteriores al nacimiento de la crías. La leche producida durante los primeros cuatro días es inadecuada para la elaboración de productos lácteos. (Meyer, 1982).

La leche está compuesta principalmente por agua, sales minerales, proteínas, lactosa, grasa y vitaminas, aproximadamente del 85 al 90% de la leche es agua. Las sales y la lactosa se encuentran disueltas en el agua y la mayoría de las sustancias proteínicas no son solubles forman un conjunto de varias moléculas llamadas soluciones coloidales.

La grasa es insoluble en el agua y por esto se encuentra en la leche en forma de glóbulos grasos formando una emulsión. Luego de un cierto tiempo, la grasa se estratifica, la grasa contribuye mucho al sabor y a las propiedades físicas de la leche y los productos lácteos.

Las sustancias proteicas de la leche se dividen en proteínas y enzimas las mismas que están compuestas de aminoácidos. Las proteínas de la leche son la caseína la albúmina y la globulina. La caseína se encuentra en combinación con el calcio y el fosfato en forma coloidal, cuando se acidifica la leche hasta un pH de 4.7, el calcio y el fosfato se separan de la caseína que es insoluble y se sedimenta. Si se acidifica la leche aún más, la caseína vuelve a disolverse. Existe un proceso llamado desnaturalización de la proteína en el cual la albúmina y la globulina que son solubles se vuelven insolubles por un calentamiento a más de 65 °C.

1.2 Características físicas.

El sabor dulce proviene de la lactosa, mientras que el aroma viene principalmente de la grasa; también, la acción de los microorganismos puede tener efectos desagradables en el sabor y olor. El color ligeramente blanco amarillento debido a la grasa, en la que se encuentra el caroteno, y a la caseína.

1.3 Microorganismos.

Los microorganismos utilizan la leche como un sustrato para su desarrollo, pueden provocar transformaciones deseables o indeseables. Las bacterias más importantes de la leche y de los productos lácteos son: las bacterias lácticas, coli-bacterias, bacterias propiónicas, bacterias butíricas, bacterias proteolíticas y las bacterias patógenas.

Las bacterias lácticas transforman la lactosa en ácido láctico, disminuyendo el pH hasta 4.5, se impide la acción de estas bacterias, en la leche cruda caliente estas bacterias se multiplican rápidamente, se destruyen por la pasteurización a temperatura baja.

1.4 Estandarización del contenido graso de la leche.

Es necesario estandarizar la composición de la leche para cumplir con las especificaciones fijadas por las normas legales, que indican un contenido mínimo de 3% de materia grasa para el yogur tipo uno; los métodos empleados en la estandarización de la leche incluyen:

Eliminación de la parte grasa de la leche;

Mezcla de leche entera y leche desnatada;

Adición de nata a leche entera o desnatada;

Utilización de centrifugas.

La cantidad de cada uno de los componentes necesarios para la estandarización de la leche mediante algunos de los métodos anteriores puede ser fácilmente calculada por el método de Pearson.

1.4.1 Método del Cuadro de Pearson.

El método de Pearson, consiste en un modelo matemático sencillo que nos permite estandarizar el contenido graso de la leche, la aplicación del cuadro de Person se puede realizar de la siguiente manera:

1. Coloca el porcentaje deseado, en este caso de grasa, en el centro del cuadrado.
2. Coloca los porcentajes de los flujos de entrada en las esquinas de la izquierda.
3. Resta en X, es decir esquina superior izquierda menos centro y el resultado se pone, en valor absoluto, en la esquina inferior derecha, ahora esquina inferior

izquierda menos centro y el resultado en valor absoluto se coloca en esquina superior derecha.

4. Usa los números de las esquinas derechas como relación proporcional de los flujos de entrada.

1.4.2 Método de balance de materia.

Se define como la masa que entra al proceso es igual a la masa que sale del proceso.

Método de balance de materia.

Sea $x = \text{kg leche desnatada}$

$y = \text{kg de nata al } 32\% \text{ de materia grasa}$

Si el proceso es la mezcla de nata con leche desnatada

- El balance de materia 'a la totalidad de la materia' (expresado en kg) es:
- $\text{kg de nata inicial (ni)} + \text{kg de leche desnatada (ld)} = \text{kg nata final (nf)}$: $200 + x = y$
- Hagamos ahora un balance de materia sólo para la grasa teniendo en cuenta la grasa que entra y la que sale.

Sea: G_{ni} = la fracción en peso de la grasa de la nata inicial, es decir el porcentaje dividido entre 100 o los tantos por uno de grasa de la nata inicial

G_{nf} = la fracción en peso de la grasa de la nata final

G_{ld} = la fracción en peso de la grasa de la leche desnatada

El Balance de materia a la grasa (grasa que entra en el proceso = grasa que sale del proceso) quedaría así:

$G_{ni} * 200 + G_{ld} * x = G_{nf} * y$ y $0.40 * 200 = 0.32 * y$, que significa que 40% de 200kg es la grasa que entra en el proceso y 32% de y es la grasa que sale.

Ahora resuelve el sistema de dos ecuaciones formado por ambos balances de materia y verás que $x = 50 \text{ kg de leche desnatada}$.

1.4.3 Descremado.

Para lograr la estandarización del contenido graso de la leche se utiliza un proceso identificado como descremado, en el cual se extrae un porcentaje regulado de crema; el descremado por lo general se realiza en una maquina llamada descremadora, la cual en base a un principio conocido como centrifugación.

1.4.4 Centrifugación.

En la industria alimentaria es común separar un componente de una mezcla líquido-líquido cuando ambos líquidos son inmiscibles, pero están finamente dispersos. Por ejemplo, en la industria láctea, la leche se separa mediante centrifugación en leche desnatada y nata.

La grasa de la leche en forma de pequeños glóbulos dispersos en la fase líquida y puede moverse a través de ella. Como los glóbulos de grasa tienen una densidad menor que la fase de líquido (desnatado), éstos se moverán hacia arriba y flotarán en la parte superior. La gravedad ejerce una fuerza mayor sobre la fase pesada, moviéndola hacia abajo y desplazando la grasa hacia la capa superficial.

Los separadores mecánicos utilizan la fuerza centrífuga aumentando el empuje gravitacional aumentando la diferencia de densidades y pesos de la grasa y la fase pesada, permitiendo la separación mucho más rápida y eficiente.

1.5 Estandarización del extracto seco magro de la leche.

Este porcentaje está establecido en las normas de cada país y las necesidades de los fabricantes de conseguir un producto con unas determinadas propiedades físicas y *flavor*. Desde el punto de vista de los fabricantes, las propiedades físicas del yogur, es decir, consistencia y viscosidad del coágulo, son de gran importancia y, en general, cuanto mayor sea el contenido de extracto seco magro de la mezcla destinada a la elaboración de yogur, mayor consistencia y viscosidad tendrá el producto final.

El aumento del extracto seco de la mezcla destinada a la elaboración del yogur se puede lograr por diversos métodos entre los que se incluye:

1.5.1 Adición de leche en polvo.

En la industria es muy frecuente la adición de leche en polvo, para el enriquecimiento de la leche destinada a la elaboración de yogur de consistencia espesa y suave. La proporción de leche en polvo añadida a la mezcla base puede oscilar de 1 a 6%, recomendándose por lo general valores entre 3 y 4%, ya que si se

añade porcentajes superiores ello puede conferir al yogur sabor a polvo.(Tamime,1991).

Para determinar la cantidad adecuada de leche en polvo que se debe colocar, partimos del porcentaje de sólidos totales contenidos en la leche determinado en el análisis de recepción de leche cruda; matemáticamente utilizamos un balance de materia que nos arroje un porcentaje de leche en polvo comprendido entre un 3 y 4%, y que el contenido de sólidos no grasos, no supere el 11%.

1.5.2 Adición de suero de leche en polvo.

Este producto se obtiene como subproducto de la elaboración de queso, las características del suero dependen del proceso previo a la deshidratación como la desmineralización, eliminación de la lactosa, concentración de las proteínas, deshidratación directa etc. El porcentaje de adición recomendado de cualquier tipo de suero de quesería para la elaboración del yogur es del 1-2 % ya que concentraciones superiores pueden originar a un desagradable sabor a suero. (Tamime,1991).

1.5.3 Adición de caseína en polvo.

Se puede elaborar distintos tipos de caseína en polvo a partir de leche desnatada, cuyas propiedades dependen de la técnica utilizada para la precipitación de la misma. Los principales tipos son: caseína ácida, precipitada por adición de ácido láctico, clorhídrico o sulfúrico; caseína coprecipitada o caseína precipitada con quimosina.

La adición a la mezcla base destinada a la elaboración de yogur supone un aumento de la concentración de proteína en el producto y de su viscosidad. El porcentaje de adición en comparación con la leche en polvo desnatada, es relativamente bajo. (Tamime, 1991).

1.5.4 Concentración por evaporación.

Se realiza en un evaporador de placas de un solo efecto para evaporar o concentrar la leche antes del tratamiento térmico final. En la práctica, la leche destinada a la elaboración de yogur debe ser previamente normalizada. La cantidad de agua eliminada oscila de un 10 a un 25 %, lo que equivale a un incremento del extracto seco total del 2-4%. Entre las ventajas de este proceso esta el mejoramiento de la estabilidad del coágulo y la reducción de la sinéresis durante el almacenamiento del producto. (Tamime, 1991).

1.6 Programa de estandarización.

1.6.1 Estandarización leche cruda.

Para el programa de Estandarización de Leche Cruda se utilizó una hoja de Excel, los primeros estándares que se toman en cuenta, son los valores de los principales análisis que se realizan a la muestra de leche; la densidad, acidez, materia grasa y sólidos totales, los resultados obtenidos de estas pruebas se introducen en la hoja de cálculo y esta los compara con los valores permitidos por las normas INEN para leche cruda,(Anexo 1), identificándolos como aceptable o rechazados, con lo cual el analista tendrá una rápida respuesta a cerca del estado de la muestra de leche.

La Estandarización de la Materia Grasa se determina por el modelo matemático del cuadro de Pearson, luego de incluir la cantidad de leche a estandarizar, el porcentaje de leche descremada que se obtiene dependiendo de la descremadora que se utilice; el programa nos indica la cantidad de leche tanto descremada como entera que se debe mezclar para obtener un producto con el 3% de grasa.

Para el caso que el contenido de grasa inicial de la leche sea inferior al 3%, el programa de estandarización realiza un cálculo inverso, es decir el mismo modelo matemático del cuadro de Person es utilizado para incrementar el valor de grasa en la leche con la ayuda de crema de leche, el programa toma como variantes el porcentaje de concentración de la crema y la cantidad de leche con un porcentaje inferior de grasa y realiza el cálculo generando el volumen de crema que se debe adicionar para obtener una leche con el 3% del grasa.

1.6.2 Estandarización de yogur.

Para la estandarización de la muestra de yogur el programa inicia con el cálculo del porcentaje de sólidos no grasos; el programa compara la cantidad de sólidos grasos y la cantidad de sólidos totales obtenidos para determinar la cantidad de sólidos no grasos que se debe adicionar para obtener un producto que no supere el 11% de sólidos totales; el programa nos indica si el valor de leche en polvo que se debe adicionar no supera el 4% que pudiera perjudicar las características del yogur.

Se genera una cantidad en gramos del fermento láctico que se debe utilizar; para el cálculo se toma en cuenta el volumen de leche, la densidad y una relación del 0,015 % de fermento láctico, el mismo que permite una adecuada fermentación.

La cantidad de estabilizantes como se verá en el capítulo dos, se determino por medio de un modelo de diseño experimental; diferentes combinaciones para los diferentes estabilizantes, el programa de estandarización genera la cantidad peso/peso que tiene que adicionarse de cada uno, en relación con el volumen de leche y su densidad. El porcentaje de estabilizantes total es considerado como sólidos no lácteos no grasos, por lo tanto se requiere un balance con la cantidad de leche en polvo para que el porcentaje no sea superior al 12% de sólidos lácteos no grasos.

El jarabe es otro de los parámetros que el programa permite estandarizar, partiendo de dos indicadores, el Brix final y la acidez inicial de la fruta el programa genera el cálculo de la cantidad de jarabe, la cantidad de agua, sacarosa, fruta y ácido cítrico; para la cantidad de jarabe se determina un porcentaje según lo que indique el modelo de diseño experimental que variara entre un 18 – 22%, en lo que se refiere a la cantidad de agua y sacarosa el programa hace una relación entre la concentración de sacarosa final, la cantidad de jarabe definiendo valores de volumen de agua y gramos de sacarosa que se deben mezclar par obtener una masa de jarabe igual a la requerida. La cantidad de fruta representa el 20% de la cantidad de jarabe y para el ácido cítrico el programa genera un balance entre el valor de acido inicial en la fruta para que no supere el 0,3%.

1.7 Uso del programa de estandarización.

1.7.1 Estandarización de leche cruda.

Al momento de ingresar al programa llamado “estandarización”, contenido en el disco adjunto (Anexo 3) al estudio en la hoja de Excel llamada leche cruda, aparecerá una pantalla parecida a la que vemos en la (figura 1).

Figura 1. Imagen extraída del programa estandarización- leche cruda.

ESTANDARIZACIÓN DE LECHE CRUDA			
			CANTIDAD DE LECHE 2 LITROS
REQUISITOS	VALOR		
DENSIDAD 15 °C	1,032	ACEPTABLEV	
20°C			
MATERIA GRASA	3,5	ACEPTABLEV	
ACIDEZ	0,158	ACEPTABLEV	
SÓLIDOS TOTALES	12,99	ACEPTABLEV	
ESTANDARIZACIÓN DE MATERIA GRASA			
			3 %
	LECHE DESCREMADA	0,3	0,3 LITROS 312,5 cc
	LECHE ENTERA	3,5	1,7 LITROS 1688 cc
	TOTAL		2 LITROS 2000 cc

El programa nos permite manipular ciertas celdas en las que debemos ingresar los resultados obtenidos en los análisis realizados al momento de la recepción de la leche; en la celda correspondiente a la cantidad de leche, debemos colocar la cantidad de leche que deseamos estandarizar; los resultados de las pruebas de densidad, materia grasa, acidez y % de sólidos totales de debe introducir en las celdas que se encuentran junto a cada uno de los nombres de las diferentes pruebas, el la celda siguiente inmediatamente aparecerá una leyenda indicándonos si el valor es aceptado o rechazado según los requisitos de la norma INEN (Anexo1) para leche cruda.

En la siguiente celda debemos ingresar el porcentaje de grasa al que deseamos llegar, que para el caso en estudio es del 3%, tenemos una celda que nos permite regular el porcentaje de descremado, esto dependiendo de la descremadora que estemos utilizando; en las celdas siguientes obtendremos el valor tanto de leche descremada como de leche cruda que se debe mezclar y el valor total a obtener posterior a la mezcla.

Figura 2. Imagen extraída del programa estandarización- leche cruda.

ESTANDARIZACIÓN DE LECHE CRUDA			
			CANTIDAD DE LECHE 2 LITROS
REQUISITOS	VALOR		
DENSIDAD 15 °C	1,032	ACEPTABLEV	SE DEBE SUBIR EL % DE GRASA
20°C			
MATERIA GRASA	2,8	RECHAZADOx	MAYOR % DE GRASA 3,5 %
ACIDEZ	0,158	ACEPTABLEV	CANTIDAD LECHE >% 0,5714 571,429 cc
SÓLIDOS TOTALES	12,14	ACEPTABLEV	CANTIDAD DE LECHE <=% 1,4286 1428,571 cc
ESTANDARIZACIÓN DE MATERIA GRASA			
			3 %
	LECHE DESCREMADA	0,3	0 LITROS 0 cc
	LECHE ENTERA	2,8	0 LITROS 0 cc
	TOTAL		0 LITROS 0 cc

En la figura 2, aparece una parte importante, es el caso en el cual, la cantidad de grasa que contiene la leche que ingresa es menor al 3%, el programa genera inmediatamente una leyenda que nos indica que se debe incrementar el porcentaje de grasa, el valor que debemos introducir es el porcentaje de grasa que contiene la leche o crema que va hacer adicionada, para el ejemplo se considera leche con 2,8% de grasa y queremos corregirla con una leche con 3,5% de grasa, el programa genera las cantidades de cada una iniciando por la de mayor contenido de grasa, la mezcla corresponderá al valor de leche estandarizada que se desea.

1.7.2 Estandarización de yogur.

En la hoja de Excel llamada yogur podemos visualizar que el programa genera inmediatamente la cantidad de cada elemento que se debe incrementar a la leche para formular el yogur tipo uno con frutilla, los únicos valores requeridos en esta etapa por el programa son los de Brix final del jarabe, acidez inicial de la fruta y número de la combinación de estabilizantes según el modelo de diseño experimental.

La estandarización de los sólidos no grasos es realizada directamente tomando en cuenta la cantidad de sólidos totales obtenidos en los análisis de la leche, expresándonos en gramos la cantidad de leche en polvo que se debe adicionar para llegar a obtener una cantidad de sólidos no grasos no superiores al 12 %. Y la cantidad de leche en polvo que se deba adicionar no sea mayor al 4%. Porcentajes basados en la norma INEN para leches fermentadas (Anexo 2).

La cantidad de envases que el programa genera está limitada a envases de un litro y de dos litros, de tal forma que se pueda realizar el pedido de envases sin necesidad de conocer antes el volumen final de yogur, que se va a obtener y de esta manera evitar un problema por falta de envases en bodega.

1.8 Análisis de las muestras de leche.

Los análisis de las muestras de leche diarias se realizaron basadas en técnicas recomendadas por las Normas INEN para leche cruda (Anexo 1), para la determinación de grasa, acidez, densidad y porcentaje de sólidos totales, presentes en diferentes muestras de leche de un mismo proveedor, tomadas diariamente durante un periodo de tiempo de siete días, de tal manera que los resultados reflejen la

necesidad de la utilización del programa de estandarización, demostrando que las características de la leche varían de un día al otro, así se trate de un mismo proveedor y por ende de los mismos animales.

Para la determinación de grasa, se trató la leche con un ácido concentrado, la caseína se disuelve, produciéndose una cantidad suficiente de calor para fundir la materia grasa, pudiendo ser separada fácilmente por medio de la fuerza centrífuga. Se utilizó un Butirómetro de Gerber. El contenido de grasa de la leche es la cantidad expresada en porcentaje de masa, de sustancia grasa, extraída de la leche.

El procedimiento determina colocar en el butirómetro 10cc de ácido sulfúrico de densidad 1.815, luego colocar 11cc de leche y 1cc de alcohol amílico, el que sirve para facilitar la separación de la grasa; centrifugar por algunos minutos y determinar en la escala el porcentaje de grasa separada.

La acidez titulable de la leche, es la acidez expresada convencionalmente como contenido de ácido láctico. Para la determinación de acidez en la leche se utilizó el método de titulación potenciométrica con hidróxido de sodio.

Los sólidos totales de la leche son el producto resultante de la desecación de la leche. La muestra de leche de alrededor de 5cc es colocada en una cápsula de porcelana, dentro de una estufa a 103 °C, durante dos a tres horas hasta obtener un peso constante, determinando la cantidad de sólidos totales a través de la fórmula:

$$\%S.T. = \frac{m1-m}{m2-m} * 100$$

De donde:

S.T =contenido de sólidos totales, en porcentaje de masa.

m =peso de cápsula vacía en gramos.

m 1=peso de la cápsula con sólidos totales en gramos.

m 2 =peso de la cápsula con leche en gramos.

Para determinar el porcentaje de sólidos no grasos, se debe restar el porcentaje de materia grasa del porcentaje de sólidos totales.

1.8.1 Resultados de los análisis de las muestras de leche.

Los resultados de los análisis de las muestras de leche fueron tabulados generando posteriormente una curva para cada una de las pruebas durante los siete días de análisis, pudiendo identificarse en los gráficos la variabilidad que presentan las muestras diariamente. Al realizar este tipo de tabulaciones dentro de la fábrica se pueden realizar un seguimiento de cada uno de los proveedores determinando posibles anomalías.

Tabla1. Resultados de los análisis.

DÍA	DENSIDAD	% GRASA	ACIDEZ	% S.T	CANTIDAD litros
1	1,029	3,4	0,158	12,12	1
2	1,03	3,3	0,16	12,25	1
3	1,031	3,5	0,14	12,74	1
4	1,03	3,5	0,145	12,49	1
5	1,029	3,6	0,16	12,36	1
6	1,032	3,3	0,152	12,75	1
7	1,03	3,4	0,148	12,37	1

Gráfico 1. curva de la densidad según los datos obtenidos en la tabla 1.

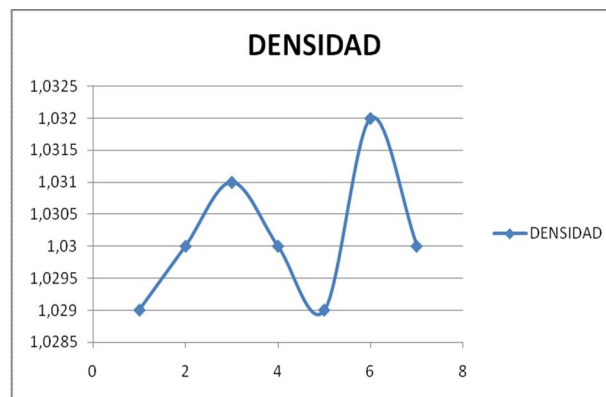


Gráfico 2. curva del porcentaje de grasa según los datos obtenidos en la tabla 1.

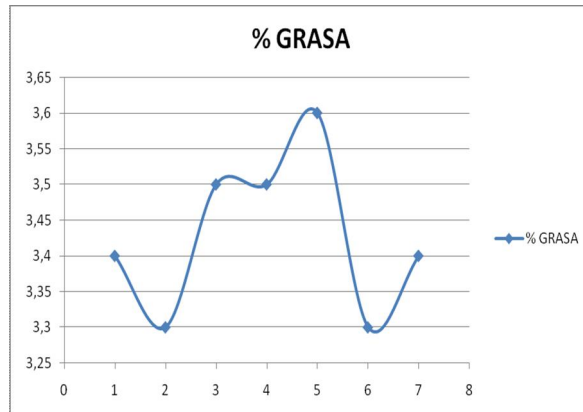


Gráfico 3. curva de acidez según los datos obtenidos en la tabla 1.

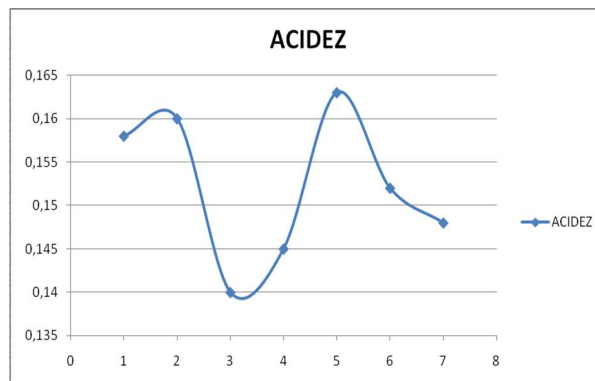
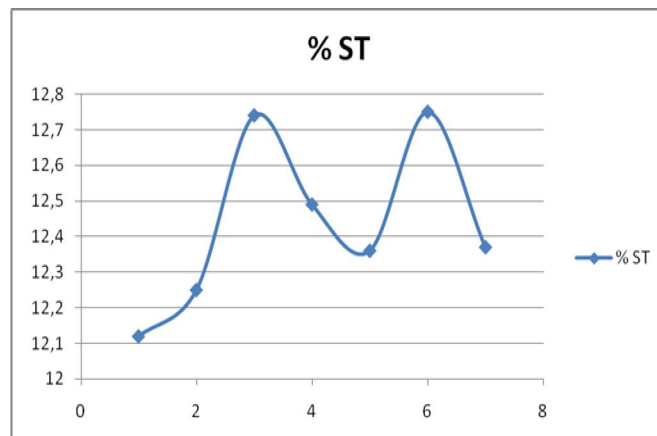


Gráfico 4. curva del porcentaje de sólidos totales según los datos obtenidos en la tabla 1.



1.8.2 Resultados de las pruebas de estandarización de leche cruda.

Realizamos pruebas de estandarización, utilizando el programa para estandarización de leche cruda, durante siete días, con la finalidad de probar el correcto funcionamiento de la hoja de cálculo, comprobando con una prueba de grasa para asegurar que la leche se estandarice con un contenido graso del 3%, logrando en todos los casos dicha estandarización. Los resultados de la estandarización de las muestras diarias de leche se presentan en un cuadro, que indica las cantidades tanto de leche descremada como leche entera que se deben adicionar para lograr la estandarización de las muestras. Estos resultados se pueden observar en el (Anexo 4).

1.9 Mejoramiento del programa de Estandarización.

Lo antes descrito se define como una forma didáctica de utilizar una hoja de cálculo para generar resultados que acortan la resolución de problemas al momento de realizar una estandarización; en la producción dentro de una fábrica se utiliza programación más exacta y que pueda tener ciertas ventajas que faciliten la automatización de los procesos, de tal manera que el operador simplemente tenga que determinar ciertos parámetros y pueda controlar el proceso desde una computadora situada fuera del área de producción, lo cual ayuda a tener bajo control las diferentes variables que pueden afectar el correcto desenvolvimiento de las operaciones durante la producción.

Con el fin de probar con un programa que muestra la ventaja de un diálogo operador maquina, en el cual es mucho más sencillo determinar los parámetros que se necesitan regular durante el proceso de estandarización; elaboramos un programa dentro de MATLAB, es el nombre abreviado de “*MATrix LABoratory*”. MATLAB es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Como caso particular puede también trabajar con números escalares tanto reales como complejos, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. MATLAB tiene también un lenguaje de programación propio.

En el disco adjunto al estudio (Anexo 3), existe un archivo llamado E06, este archivo contiene una hoja de edición donde una serie de comandos ejecutan la estandarización de leche cruda, incluyendo también la estandarización del yogur tipo uno con frutilla, al igual que la versión en Excel este programa es de un manejo muy

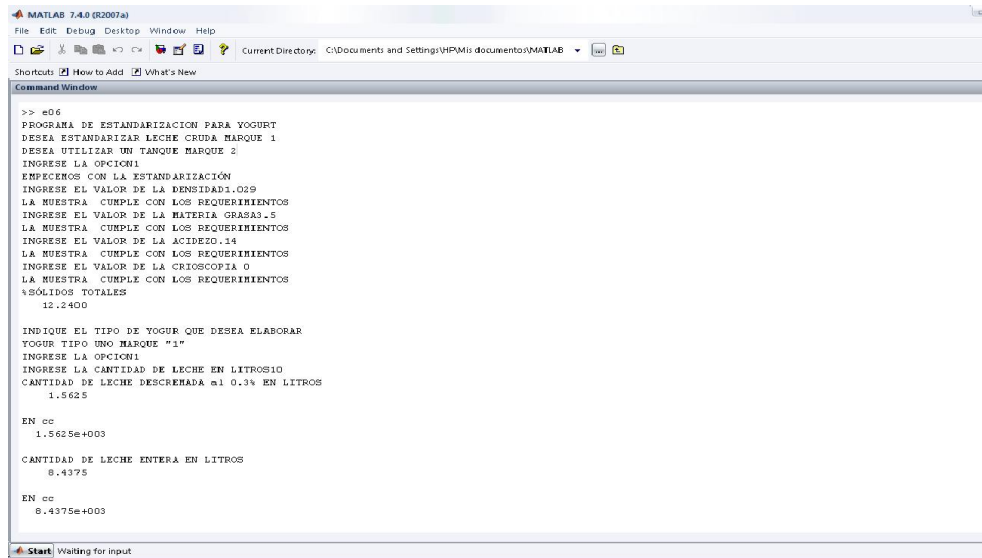
sencillo; al iniciar MATLAB se introduce el nombre del archivo E06 en la ventana de comandos, inmediatamente empieza un dialogo, en el cual el programa realiza ciertas preguntas para que el operador dependiendo de lo que necesita pueda ir introduciendo ciertos datos y el programa a su vez generará los resultados para los diferentes cálculos.

La primera opción que se presenta es determinar si se requiere estandarizar leche cruda para lo cual el programa pide marcar “1”, luego de esto el programa necesita los valores de densidad, grasa, acidez y crioscopía; el valor de sólidos totales es generado por el programa utilizando una formula que involucra la densidad y grasa, además es programa compara los valores ingresados con los requerimientos de la norma INEN para leche cruda, (Anexo 1). También el programa genera una opción que es la de utilizar un tanque, es decir utilizar valores ya establecidos en otro archivo para generar la estandarización; el programa pide marcar “2” si se desea utilizar un tanque luego marcar el código del tanque por ejemplo “t01” esto nos indica que utilizaremos la leche contenida en el tanque número uno, el cual muestra su capacidad y las características de la leche; esto ayuda, ya que en las fabricas existen algunos tanques y el operador puede confundirse.

El programa pregunta si el operador desea elaborar yogur tipo uno y le pide que marque “1”, luego hay que ingresar la cantidad de leche, el programa genera las cantidades de leche descremada y leche entera que se deben mezclar; muestra una matriz con las combinaciones de los estabilizantes, debiendo escoger la combinación con la cual se vaya a trabajar, a su vez el programa muestra la cantidad de leche en polvo, fermento láctico, jarabe, agua, sacarosa, fruta y ácido cítrico al igual que un tiraje de envases de un litro y de dos litros.

Un ejemplo del funcionamiento está dado a continuación en la figura 10 se puede ver la corrida del programa de estandarización de leche cruda y yogur llamado E06, en una ventana de comandos de MATLAB.

Figura 10.- Imagen tomada del programa MATLAB archivo E06.



```
MATLAB 7.4.0 (R2007a)
File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: C:\Documents and Settings\HPM\mis documentos\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New
Command Window

>> e06
PROGRAMA DE ESTANDARIZACION PARA YOGURT
DESEA ESTANDARIZAR LECHE CRUDA MARQUE 1
DESEA UTILIZAR UN TANQUE MARQUE 2
INGRESE LA OPCION1
EMPECEMOS CON LA ESTANDARIZACION
INGRESE EL VALOR DE LA DENSIDAD1.029
LA NUESTRA CUMPLE CON LOS REQUERIMIENTOS
INGRESE EL VALOR DE LA MATERIA GRASA0.5
LA NUESTRA CUMPLE CON LOS REQUERIMIENTOS
INGRESE EL VALOR DE LA ACIDEZO.14
LA NUESTRA CUMPLE CON LOS REQUERIMIENTOS
INGRESE EL VALOR DE LA CRIOSCOPIA 0
LA NUESTRA CUMPLE CON LOS REQUERIMIENTOS
%SOLIDOS TOTALES
    12.2400

INDIQUE EL TIPO DE YOGUR QUE DESEA ELABORAR
YOGUR TIPO OMO MARQUE "1"
INGRESE LA OPCION1
INGRESE LA CANTIDAD DE LECHE EN LITROS10
CANTIDAD DE LECHE DESCREHADA a1 0.3% EN LITROS
    1.5625

EN cc
    1.5625e+003

CANTIDAD DE LECHE ENTERA EN LITROS
    8.4375

EN cc
    8.4375e+003

Stack: Waiting for input
```

Conclusiones y Recomendaciones.

Con el desarrollo de este capítulo se logró la configuración de un programa de estandarización que nos permita regular el contenido graso de la leche a un 3% en su composición final, para esto el programa de estandarización configurado tanto en una hoja de cálculo de Excel como un archivo en el programa MATLAB llamado E06, nos indican las cantidades de leche descremada y leche entera que se deben mezclar, además se configuró el programa para que compare los datos obtenidos de los análisis con los valores permitidos por las normas INEN para leche cruda; el programa puede ser utilizado para la estandarización de leche, partiendo de una leche con menor porcentaje de grasa y con la adición de leche con un contenido de grasa mayor, generar cantidades que al mezclarse regulen la leche a un 3% de grasa. Recopilando los datos proporcionados diariamente por el programa se puede elaborar gráficos que nos permitan ver el comportamiento de los parámetros sometidos análisis. En una segunda parte del programa de estandarización, genera valores exactos según una formulación previamente establecida para la elaboración de yogur tipo uno con frutilla, esta parte es de suma importancia dentro del segundo capítulo de este estudio.

Se recomienda realizar pruebas de estandarización durante periodos más largos de tiempo con la finalidad de tener datos más exactos de la variabilidad en lo que a densidad, acidez, grasa y sólidos totales se refiere, el programa es modificable pudiéndose acoplar a la planta operadora y dependiendo de si se utiliza algún otro tipo de descremadora, pudiéndose reajustar para medir la cantidad de crema de leche que se debe obtener para estandarizar la leche.

La inclusión de un sistema que calcule el costo por litro de leche a través de una comparación con el porcentaje de grasa que contenga cada muestra, puede ser adicionado al igual que una hoja de cálculo donde se generen costos durante la producción de yogur; otro tipo de pruebas como porcentajes de proteína vitaminas entre otros para las cuales durante la elaboración del programa, no se contaba con el instrumental necesario.

Capítulo II

ELABORACIÓN DE YOGUR TIPO UNO CON FRUTILLA

Introducción

Como un primer paso en la elaboración de las muestra de yogur tipo uno utilizadas dentro del estudio, se determinó la aplicación, de un diseño experimental puede ser definido como la estrategia para poner los experimentos de tal manera que la información requerida sea obtenida tan eficiente y precisa como sea posible.

Para el estudio planteado se utilizó un diseño de *Plackett and Burman* de ocho experimentos, con cinco variables, cuatro de ellas los estabilizantes en estudio y la adición de jarabe a una concentración de 60 Brix como una quinta variable, se tomaron los valores indicados en la norma INEN para la elaboración de yogur tipo uno.

Utilizando el programa de Estandarización planteado en le capítulo anterior, se elaboró un yogur tipo uno, con una formulación la cual incluía la adición de leche en polvo para incrementar los sólidos lácteos totales además de los estabilizantes en las cantidades exactas obtenidas en el diseño experimental, un proceso de pasteurización una inoculación de fermento láctico, así como la incorporación de la cantidad de jarabe, ácido cítrico y fruta adecuados, que debían integrarse a la mezcla base para obtener el producto final.

Una esterilización de los envases de vidrio de aproximadamente 200cc de capacidad, ideales para identificar con mayor facilidad posibles problemas con en las distintas muestras durante en periodo de almacenamiento.

2.1 Diseño experimental.

2.1.1 El propósito del diseño estadístico.

La experimentación es preparada afuera generalmente en forma de un modelo matemático, entre factores que actúan sobre el sistema y la respuesta o propiedades del sistema la esencia de sistema es un proceso, producto o ambos. La información es usar, conseguir o promover, los objetivos del proyecto. Aspiramos a planear y llevar los experimentos necesarios para el proyecto con la máxima eficiencia, por lo tanto, el uso del presupuesto (que es, los recursos de dinero, equipo, materia prima, recursos humanos, el tiempo, etc.) son optimizados para llegar a los objetivos tan rápidamente y con la mejor precisión posible.

2.1.2 Diseño de Plackett – Burman.

Es un diseño experimental presentado por Robin L. Plackett y J. P. Burman, en 1946; su objetivo fue encontrar los diseños experimentales para investigar la dependencia de una cantidad medida sobre un número de variables independientes (los factores), en cada nivel de L, minimizando la discrepancia de los cálculos aproximados de estas, usando un número limitado de experimentos. Las interacciones entre los factores fueron consideradas insignificantes. La solución para este problema es encontrar un diseño experimental en el que cada combinación de niveles para un par factores aparezca el mismo número de veces. Un diseño factorial completo que satisfaga este criterio, pero la idea fue encontrar diseños más pequeños.

Para estudio se tomaron cinco factores, Goma arábica, Carboximetilcelulosa, Alginato de Sodio, Pectina y Jarabe; dando como resultado ocho pruebas como se puede ver en el cuadro de la corrida del Diseño (Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de 8 factores según diseño de Plackett – Burman.

	GOMA AR	CMC	ALGINATO Na	PECTINA	JARABE
1	1	-1	-1	1	-1
2	1	1	-1	-1	1
3	1	1	1	-1	-1
4	-1	1	1	1	-1
5	1	-1	1	1	1
6	-1	1	-1	1	1
7	-1	-1	1	-1	1
8	-1	-1	-1	-1	-1

Se representa en valor mayor con (1), y el valor menor con (-1); siendo los valores que indican las normas valores intermedios, es decir el valor mayor será un 10% más de lo que indica la norma y el valor menor un 10% menos de lo que la norma indica.

2.2 Los estabilizantes.

Entre las numerosas macromoléculas de origen natural, un cierto número poseen la propiedad de dispersarse fácilmente en el agua para dar lugar a un aumento bastante consecuente de la viscosidad y a veces a un efecto gelificante. Estos espesantes y gelificante alimentarios se llaman gomas hidrosolubles o hidrocoloides.

Además de su poder espesante y/o gelificante, estos biopolímeros pueden igualmente emplearse con otros cometidos: estabilización de las suspensiones y emulsiones, poder de retención de agua, poder ligante y formación de complejos con las proteínas.

El problema que se presenta en el estudio es la determinación del efecto de los estabilizantes en el yogur, para el cual debemos determinar las cantidades adecuadas que deben ser adicionadas a la mezcla para obtener características aceptables en el producto final.

Dentro de los datos existentes tenemos las características de los estabilizantes, la finalidad de su adicción a la mezcla base es mejorar y mantener la textura, viscosidad, aspecto y cuerpo del yogur que es sometido a un tratamiento mecánico durante la elaboración, ya sea la agitación en el tanque de fermentación al final del período de incubación o en el tanque de refrigeración, bombeo hacia un intercambiador de calor de placas o de tubos, mezcla para incorporar las frutas o aromas al coágulo, seguida de bombeo hasta la máquina de envasado, tratamiento térmico post-fermentación en el caso de elaboración de yogur UHT.

Los estabilizantes se denominan en algunos casos hidrocoloides y su acción en el yogur incluye básicamente dos funciones; en primer lugar, una retención del agua y en segundo las moléculas de los estabilizantes son capaces de formar una red mediante enlaces entre las mismas y los distintos componentes de la leche debido a la presencia de grupos cargados negativamente, como por ejemplo los grupos carboxilo, o a la presencia de grupos capaces de secuestrar iones de calcio. Los grupos cargados negativamente se encuentran en las interfaces.

Estos estabilizantes se pueden añadir solos o mezclados, la finalidad de mezclar varios estabilizantes es lograr la función específica perseguida.

2.2.1 Solubilidad y disolución de los estabilizantes.

Esta propiedad está ligada en primer lugar a las propiedades del grano: granulometría, porosidad, superficie específica, presencia de impurezas más o menos solubles. La solubilidad depende igualmente de la propia naturaleza del polímero. De una forma general, los glicanos contienen numerosos grupos hidroxilo que le confieren un carácter hidrófilo marcado.

Algunos preparados de almidón y carragenatos sódicos son solubles a baja temperatura, por lo que pueden ser añadidos a la leche fría durante la preparación de la mezcla base. Sin embargo la mayoría de los agentes estabilizantes sólo son solubles a temperaturas elevadas, de 50-85 °C. En algunos casos para lograr la disolución completa de una determinada mezcla de estabilizantes, por ejemplo de las que contienen preparados de almidón, es preciso mantener la mezcla durante algún tiempo a elevada temperatura para lograr que el estabilizante resulte activo como tal.

2.2.1.1 Propiedades reológicas.

Las propiedades espesantes o gelificantes de las soluciones de glicanos dependen de la forma que adopten las macromoléculas, de su masa molecular, rigidez y de sus posibilidades de asociarse entre ellas. Además de estos parámetros se pueden distinguir dos grandes tipos de comportamiento.

1. Las macromoléculas muy ramificadas o globulares ocupan un volumen poco importante y pueden ser consideradas semejantes a esferas. Como se perturba poca la movilidad de la solución, la viscosidad es baja.
2. Las macromoléculas desplegadas pueden ocupar un volumen muy importante comparable al ocupado por moléculas ramificadas. De esto resulta una importante obstrucción a la movilidad de las soluciones que las contienen. Siendo esta una característica de los espesantes puros, tales como los alginatos.

2.2.1.2 Interacción con la proteína.

En el caso de la caseína se puede observar interacciones proteína/glicano a pHs superiores al punto isoeléctrico. La gelificación en la leche se debe a la interacción con la caseína y a la asociación de macromoléculas. El desfase entre las temperaturas de estructuración con la caseína por una parte, y por otra entre las mismas moléculas del hidrocoloide evitan defectos en el producto final.

2.2.1.3 Efectos de la caseína.

La adición de algunos hidrocoloides como carboximetilcelulosa sódica, goma de guar o goma de algarroba a concentraciones bajas, puede implicar una desestabilización de las micelas de caseína y aunque las micelas de caseína desestabilizadas acaban finalmente coagulando, la matriz que forman tiene una capacidad de retención de agua bastante limitada, por lo que la sinéresis resulta evidente. No obstante este problema puede minimizarse mezclando los compuestos anteriormente mencionados con carragenatos o alginatos.

Puesto que la caseína puede precipitar en la leche antes de la acidificación o durante el desarrollo de la misma, algunos estabilizantes pueden ser añadidos después de la formación del coágulo. En este caso se recomienda mezclar el estabilizante con azúcar e incorporarlo al coágulo.

2.2.2 Características de los estabilizantes.

2.2.2.1 Goma arábica.

Goma arábica, determinada como E414, es un polisacárido natural que se extrae de la resina de los árboles del género de Acacia.

Químicamente la goma arábica es polímero de hidratos de carbono. Estructuralmente es un polisacárido muy ramificado formado por una cadena principal de unidades β -1,3-galactopiranosas a la cual se le une residuos de ramnopiranosas, arabinopiranosas, arabinofuranosas, ácido glucorónico y ácido 4-O-metilglucorónico. sus propiedades son aparentes a la Goma Xantano (Anexo 5).

En el consumo humano, la goma arábica es considerada como parte de la fracción de las fibras. Su valor energético es menos de la mitad comparado con el almidón o la maltodextrina. Exudado 100% natural su color café ambar; soluble en agua fría o

caliente, insoluble en alcohol aceites o solventes. Es la goma de viscosidad más baja, cuyo sabor es neutro, es inodoro. Es compatible con la mayoría de los aditivos.

Tabla3.- Características de la Goma Arábica.

Característica	MIN	MAX
Fibra	80%	--
pH	4.5	5.5
Humedad	-	25%

2.2.2.2 Alginato de sodio.

Otro de los estabilizantes que se utilizaran dentro del estudio es el Alginato de sodio, designado como E401. Las algas pardas de la familia de las "feofíceas" constituyen la materia prima principal en la producción de alginato. El mismo, es un componente de la pared celular de tales organismos y se encuentra formando un complejo insoluble de ácido algínico y sus sales cálcica, magnésica y de metales alcalinos en varias proporciones. Es un polvo inodoro color crema. Su estructura y sus propiedades se encuentran en el (Anexo 6).

Tabla4.- Características del Alginato de Sodio.

Característica	MIN	MAX
Viscosidad	250	450
pH	5	9
Humedad	-	20%

2.2.2.3 Carboximetilcelulosa (CMC).

Otro estabilizante de gran importancia en la industria alimentaria es La Carboximetilcelulosa (CMC), conocida como E466; puede considerarse como un ácido débil que no será soluble ni en una solución de ácido fuerte, ni en los disolventes orgánicos. Su carácter aniónico explica su reacción con las proteínas anfóteras al Phi y evita su precipitación durante el tratamiento térmico o el almacenamiento. Cuando tiene lugar la reacción CMC/proteínas, se forma un complejo soluble y permite así la preparación de numerosas bebidas y salsas. En los

productos lácteos del tipo de cremas heladas y postres fríos, la CMC permite en los productos helados evitar la sinéresis en los postres gelificados. Este derivado celulósico se utiliza igualmente para mejorar el cuerpo de los productos con bajo contenido de azúcar.

Comercialmente, la celulosa se obtiene de la madera y del algodón; esta segunda fuente es la más pura del polisacárido. Polvo blanco – amarillento, inodoro.

Tabla5.- Características de la Carboximetilcelulosa.

Características	
Humedad	8% máximo
Solubilidad en agua	Total
pH	6 a 12
Densidad	0,6 – 0,9

2.2.2.4 Pectina.

La Pectina, conocida como E 440i, Comercialmente, se derivan de desechos de frutas, particularmente de desechos y subproductos de la manufactura de jugos (manzana y cítricos).

Se conoce que la pectina confiere al yogur calidad y estabilidad mediante su interacción con la caseína, la cual juega un papel muy importante en la estructura del gel. Durante la fermentación, las proteínas de la leche, inicialmente moléculas anfóteras, cambian su carga total. En el pH isoelectrico (4,6) la carga total es cero. A un pH mayor, la caseína tiene carga negativa y positiva a un pH menor. Su estructura y sus propiedades se pueden observar en el (Anexo 7).

2.3 Elaboración de yogur.

2.3.1 El yogur.

El yogur (también conocido como yogurt, yoghurt o yoghourt) es un producto coagulado obtenido por fermentación láctica de la leche o mezcla de esta con derivados lácteos, mediante la acción de bacterias lácticas *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*; su actividad le confieren las características al producto terminado.

2.3.1.1 Tipos de yogur.

Existen varios tipos de yogur según diferentes clasificaciones, las más conocidas son las determinadas por la norma INEN para leches fermentadas (*Anexo 2*), donde se clasifican según su contenido de grasa:

- Tipo Uno. Elaborado con leche entera, leche integral o leche integra.
- Tipo Dos. Elaborado con leche semi descremada o semidesnatada.
- Tipo Tres. Elaborado con leche descremada o desnatada.

De acuerdo con los ingredientes, las leches fermentadas se clasifican en:

- Natural
- Con frutas
- Azucarado
- Edulcorado
- Con otros ingredientes.
- Saborizado o aromatizado.

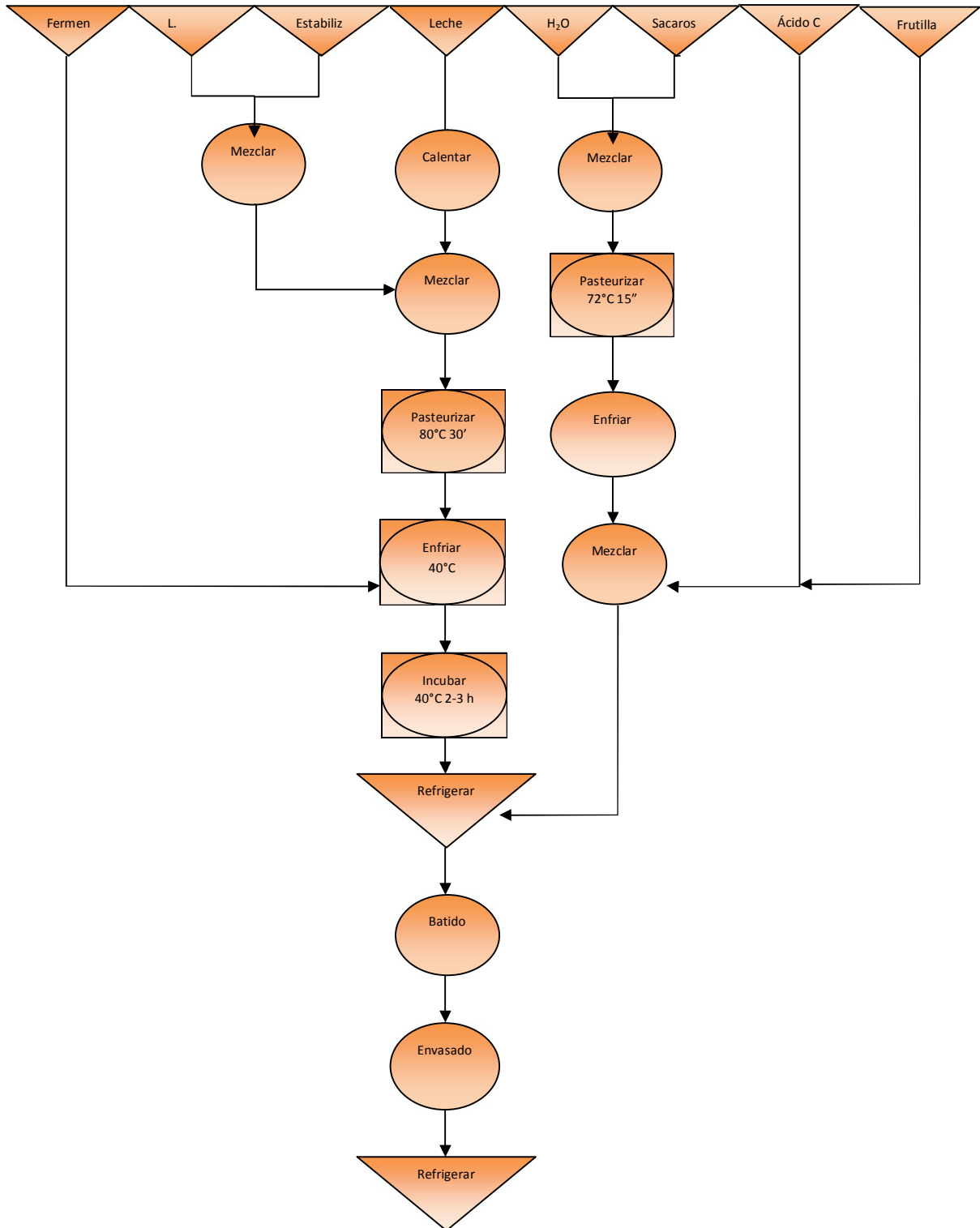
De acuerdo con el proceso de elaboración:

- Batido: es incubado en depósitos y enfriado antes de su envasado
- Congelado o aflanado: incubado en tanques y congelado como un helado en crema.
- Bebible: similar al batido aunque el coágulo se rompe hasta obtener una forma líquida antes del envasado.
- Concentrado: incubado en tanques, concentrado y enfriado antes de ser envasado.
- Deslactosado.

Para cada uno de los tipos de yogur existe una formulación y un proceso que se debe seguir paso por paso para obtener las características deseadas en el producto final. Dentro del estudio se requiere la obtención de un yogur tipo uno es decir un yogur

elaborado con leche entera, pero en el diagrama de proceso se debe incluir otras variantes como la adición de fruta y los estabilizantes antes determinados, por lo cual planteamos un diagrama de proceso específico para el estudio. Este diagrama podrá admitir algunos cambios según se verán más adelante de tal manera que se logre mejoras en el producto final y en la línea de producción.

Diagrama 1. Elaboración de yogur tipo uno con frutilla.



2.3.2 Selección de leche cruda.

Se utilizó leche cruda de un solo proveedor a la cual se le efectuaron pruebas para su aceptación como leche adecuada para la elaboración de yogur, bajo parámetros especificados por la Norma INEN para leche cruda (Anexo 1), incluidos en el programa de estandarización.

2.3.3 Pasteurización.

En la preparación del yogur, la leche se pasteuriza a 80 °C por un tiempo de 30 minutos, para destruir los microorganismos patógenos y la flora que no interese. Además se incluye antes de llegar a la temperatura de pasteurización los sólidos como la leche en polvo y los estabilizantes. Luego se enfría hasta los 40 °C que es la temperatura que normalmente se usa en la incubación.

2.3.4 Incubación.

Se inocula con un *starter* de los dos microorganismos, el *Streptococcus termophilus* y el *Lactobacillus bulgaricus*, pero que han sido cultivados por separado para evitar un exceso de producción de ácido láctico. De este modo, no se ve favorecida una especie frente a la otra dentro del mismo *starter*.

Si la leche está libre de inhibidores, la actividad microbiana está determinada principalmente por la temperatura de incubación y la cantidad de fermento láctico agregado. Mientras mayor sea la diferencia con la temperatura óptima y menor la cantidad de inóculo agregada mayor será el tiempo de fermentación.

La temperatura y el tiempo de incubación, además de la cantidad de inóculo, no solo influyen en la acidez final sino también en la relación entre bacterias. En el caso del cultivo del yogur con *Streptococcus termophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, una menor cantidad de inóculo y bajas temperaturas favorecen al *Streptococcus termophilus* y en el caso inverso al *Lactobacillus bulgaricus*. En la elaboración de yogur es preferible usar un corto tiempo de procesamiento, y para eso se regula la temperatura y la cantidad de inóculo. Normalmente se usan temperaturas de incubación entre 42 y 45 °C, de 2 a 3% de cultivo y un tiempo de incubación de 2³⁰ a 3 horas.

En un principio el pH (comúnmente de 6,8) es favorable para el *Streptococcus thermophilus* que se desarrolla más rápido produciendo ácido fórmico y dióxido de carbono, bajando así el pH hasta 5 aproximadamente. De este modo se estimula el crecimiento del *Lactobacillus bulgaricus*. Al mismo tiempo, el desarrollo del *Lactobacillus bulgaricus* favorece el crecimiento del *Streptococcus thermophilus* por la producción de nutrientes como ácido láctico, péptidos y aminoácidos como la valina.

Esta aparición del ácido láctico es el que provoca el descenso del pH, que a su vez es el responsable de la coagulación de la leche. La coagulación se produce a causa de la estabilidad de la caseína. Al pH de la leche fresca, las moléculas de caseína tienen carga negativa y se repelen. En la acidificación de la leche, los iones hidrógeno del ácido son absorbidos por las moléculas caseínas, por lo que la carga negativa va disminuyendo y así también la repulsión entre ellas. La coagulación empieza cuando la repulsión ha disminuido. A un pH de 4,6 las moléculas de caseínas son eléctricamente neutras y completamente insolubles. Este nivel de pH se conoce como punto isoeléctrico de la caseína. Su efecto en el yogur es que una vez ocurrida le confiere su consistencia semisólida característica.

En los productos lácteos fermentados, la fermentación culmina cuando se alcanza un valor de 4,2 a 4,5 de pH aproximadamente, o cuando se observa un valor de 0,75 a 0,8 de acidez titulable. Una vez lograda la acidez requerida, debe enfriarse a 4 o 5 °C para detener la fermentación y evitar que se siga produciendo ácido láctico. Estos microorganismos y su efecto sinérgico son los responsables finalmente de la formación de aromas y texturas típicos del yogur. Entre los componentes responsables del aroma se encuentran el acetaldehído, acetoina, diacetilo.

2.3.5 Bioquímica de la fermentación.

Los microorganismos mantienen sus ciclos vitales mediante un gran número de complejas e interrelacionadas rutas metabólicas. Uno de los mecanismos de regulación se debe a los compuestos de bajo peso molecular resultantes de la degradación de los nutrientes, que tienen efecto sobre el metabolismo y el crecimiento de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* influye además sobre las propiedades y características del producto final. Por esta razón las reacciones químicas de los microorganismos del yogur son fundamentales para la elaboración de un producto de alta calidad.

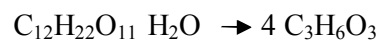
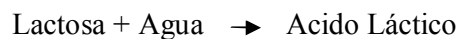
2.3.5.1 Metabolismo de los carbohidratos.

2.3.5.1.1 Rutas metabólicas.

Las bacterias ácido-lácticas solo pueden obtener su energía a través de la fermentación de los carbohidratos, siendo la lactosa el único azúcar presente en la leche y utilizado para este fin por los microorganismos del yogur. El catabolismo de la lactosa por *S. thermophilus* y *L. bulgaricus* tienen lugar en el interior de la célula microbiana, por lo que el paso inicial es el transporte de las moléculas de lactosa a través de la pared celular.

2.3.5.1.2 Producción de ácido láctico.

El catabolismo de la lactosa por *S. thermophilus* y *L. bulgaricus* determina principalmente la producción de ácido láctico y aunque el proceso comprende muchas reacciones bioquímicas, puede simplificarse en la siguiente ecuación:



La importancia del ácido láctico en la elaboración del yogur se debe a las siguientes razones en primer lugar contribuye a la desestabilización de las micelas de caseína mediante el paso del fosfato y del calcio de un estado coloidal a una forma soluble, que difunde en la fracción acuosa de la leche, lo que determina una progresiva deplección de calcio de las micelas que conduce a la precipitación de la caseína a valores de pH de 4,6 a 4,7, dando lugar a la formación del gel que constituye el yogur. Una vez alcanzada esta condición, se forma lactato cálcico soluble:

Fosfocaseinato de calcio + Acido láctico \rightarrow Caseína + Lactato cálcico + Fosfato cálcico.

En segundo lugar, el ácido láctico proporciona al yogur su sabor característico, es decir ácido, pudiendo también contribuir o acentuar el sabor a nuez o aromático del producto.

2.4 Adición de fruta.

La utilización de fruta es otro de los factores de importancia dentro de la elaboración del yogur, la suspensión de la fruta implica una estandarización en el proceso de troceado, la fruta puede ser adicionada en diferentes formas.

2.4.1 Frutas confitadas.

Las frutas son procesadas con pequeñas cantidades de jarabes de azúcares para dar lugar a un producto final que contiene un 70% de fruta y un 30% de agua.

2.4.2 Frutas congeladas.

Algunas frutas pueden congelarse a temperatura de -20°C , para su posterior utilización. Cuando este tipo de productos va a ser utilizado se procede a su descongelación, se le añade agua y finalmente se somete a calentamiento.

2.4.3 Frutilla.

Dentro del estudio una característica esencial es la adición de fruta en este caso de frutilla, también conocida como fresas o fresones son frutas que aportan pocas calorías y cuyo componente más abundante, después del agua, son los hidratos de carbono (fructosa, glucosa y xilitol). Destaca su aporte de fibra, que mejora el tránsito intestinal. En lo que se refiere a otros nutrientes y compuestos orgánicos, las fresas y los fresones son muy buena fuente de vitamina C y ácido cítrico, ácido salicílico, ácido málico y oxálico, potasio y en menor proporción contienen vitamina E. La vitamina C tiene acción antioxidante, al igual que la vitamina E y los flavonoides (antocianos), pigmentos vegetales que le confieren a estas frutas su color característico.

Las formulación con la cantidad exacta de cada uno de los componentes que intervienen en el proceso de elaboración de yogur tipo uno con frutilla, se detallan en el (Anexo 8).

Conclusiones y Recomendaciones.

El proceso de elaboración de yogur tipo uno con frutilla, descrito en este capítulo determina que la incorporación de estabilizantes para la obtención de la mezcla base de yogur, se debe realizar junto con la adicción de leche en polvo, con un apoyo en la teoría descrita y en el diseño experimental, como eje principal del estudio, se pudo formular un yogur adecuado y que representa indudablemente una buena herramienta para los análisis del efecto de los estabilizantes en sus propiedades reológicas.

Como recomendación para producciones a mediana y grande escala, sugerimos utilizar una maquina especifica para el mezclado de los estabilizantes, ya que esto representó el mayor problema al momento de la incorporación de los hidrocoloides en el proceso de elaboración del yogur.

Capítulo III

EFFECTO DE LOS ESTABILIZANTES EN LA REOLOGÍA DEL YOGUR TIPO UNO CON FRUTILLA

Introducción

Para determinar la influencia de los estabilizantes en las propiedades reológicas del yogur tipo uno con frutilla se definió dos propiedades reológicas importantes en el yogur, la viscosidad y sinéresis, al ser los puntos de mayor importancia tanto dentro de la producción como para los consumidores; utilizando para las pruebas de viscosidad un viscosímetro de presión variable; calculando posteriormente un coeficiente de viscosidad se determina en tipo de fluido con el cual se está trabajando según su viscosidad y su comportamiento en relación a modelos ya estipulados; representado de forma gráfica, se genera diferentes puntos que distan de una recta donde fácilmente se determina la mayor incidencia de uno o varios estabilizantes sobre la viscosidad de las muestras. En el caso de la sinéresis las pruebas de almacenamiento de las muestras a diferentes temperaturas dan como resultado una división de fases en cada una de las muestras, por un método de filtración y un posterior cálculo del porcentaje de sinéresis, el cual al ser representado gráficamente deja ver la capacidad de cada estabilizante para reducir los porcentajes de sinéresis en el yogur.

3.1 Reología

La Reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Su estudio es esencial en muchas industrias, incluyendo las de plásticos, pinturas, alimentación, tintas de impresión, detergentes o aceites lubricantes.

3.1.1 Aplicaciones del estudio de la reología.

- Control de calidad de los alimentos: este control se realiza en la propia línea de producción. Es determinante para la aceptación de productos como patatas fritas, cereales, quesos, aperitivos, yogures, dulces, chocolates, cremas, etc.
- Estudio de la textura y consistencia de productos alimenticios: dichas propiedades son muy importantes a la hora de que un producto sea del agrado del consumidor.
- Producción de pegamentos: el estudio de su plasticidad, de la forma de fluir dentro del recipiente que lo contiene, etc.
- Producción de pinturas: una pintura debe ser esparcida de forma fácil pero sin que escurra.
- Producción de productos cosméticos y de higiene corporal: la duración de una laca sobre el pelo, la distribución de la pasta de dientes por toda la boca, la forma de cómo se esparce una crema, etc. Todas estas características se estudian con la reología para obtener la mayor eficacia del producto.

- Producción de medicamentos: se estudia su estabilidad química, su tiempo de caducidad y su facilidad de extrusión, entre otras.

- Caracterización de elastómeros y de polímeros tipo PVC.

- Estabilidad de emulsiones y suspensiones.

- Caracterización de gasolinas y otros tipos de hidrocarburos.

- Caracterización de metales (en situaciones de elevada temperatura), y de cristales líquidos.

- Control de sustancias que sean transportadas a lo largo de un recipiente cilíndrico (para evitar la reopexia).

- Estudio del magma en vulcanología: cuanto más fluido sea el magma más tendencia va a tener el volcán a que provoque una erupción.

3.1.2 Características reológicas

3.1.2.1 Viscosidad

La viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia a la deformación del fluido. Dicho concepto se introdujo anteriormente en la Ley de Newton, que relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación (gradiente de velocidad).

La leche es mucho más viscosa que el agua. Esta mayor viscosidad se debe, por completo a la materia grasa en estado globular y las macro moléculas proteicas, la viscosidad disminuye con la elevación de la temperatura. Toda modificación que actúa en las grasas o las proteínas tendrá un efecto particular en la viscosidad, La homogenización eleva la viscosidad de la leche, así como los factores que producen

variaciones en el estado de hidratación de las proteínas (coagulación del agua ligada) también son causas de los cambios de viscosidad. La contaminación de ciertos microbios aumenta la viscosidad de la leche especialmente los *streptococcus* lácticos de la llamada "Leche filante". Algunas especies de bacterias lácticas producen tal cantidad de polisacáridos que aumentan considerablemente la viscosidad de la leche fermentadas. La coagulación por acidificación para la preparación de leche ácida, se logra mediante el agregado de inhibidores a la leche, es decir, inoculándolas con cultivos de bacterias lácticas; estos microorganismos transforman la lactosa en ácido láctico cuando el pH se acerca a su valor isoelectrico aumenta la viscosidad, por lo que se obtiene fácilmente productos más espesos, con textura de gel, tal como el yogurt las condiciones necesarias para la formación del gel, establece un delicado balance en la precipitación.

Dentro de los factores que afectan la viscosidad del yogur están los siguientes:

- Contenido de grasa.
- Temperatura de incubación a mayor temperatura la viscosidad disminuye.
- Velocidad de enfriamiento.
- Por efecto de calentamiento.
- Por efecto de la contaminación de sólidos en la leche.

Los cambios en la viscosidad del yogur, depende de una serie de factores propios de las proteínas tales como el tamaño molecular, forma, carga superficial, tipo de las proteínas, concentración, solubilidad y capacidad de retención de agua, y estas a su vez, están influenciados por los factores del medio ya mencionados; otro factor importante es el calcio que queda retenido en las caseínas, cuya proporción con la superficie micelar influye en la formación del gel.

3.1.2.1.1 Tipos de viscosidad

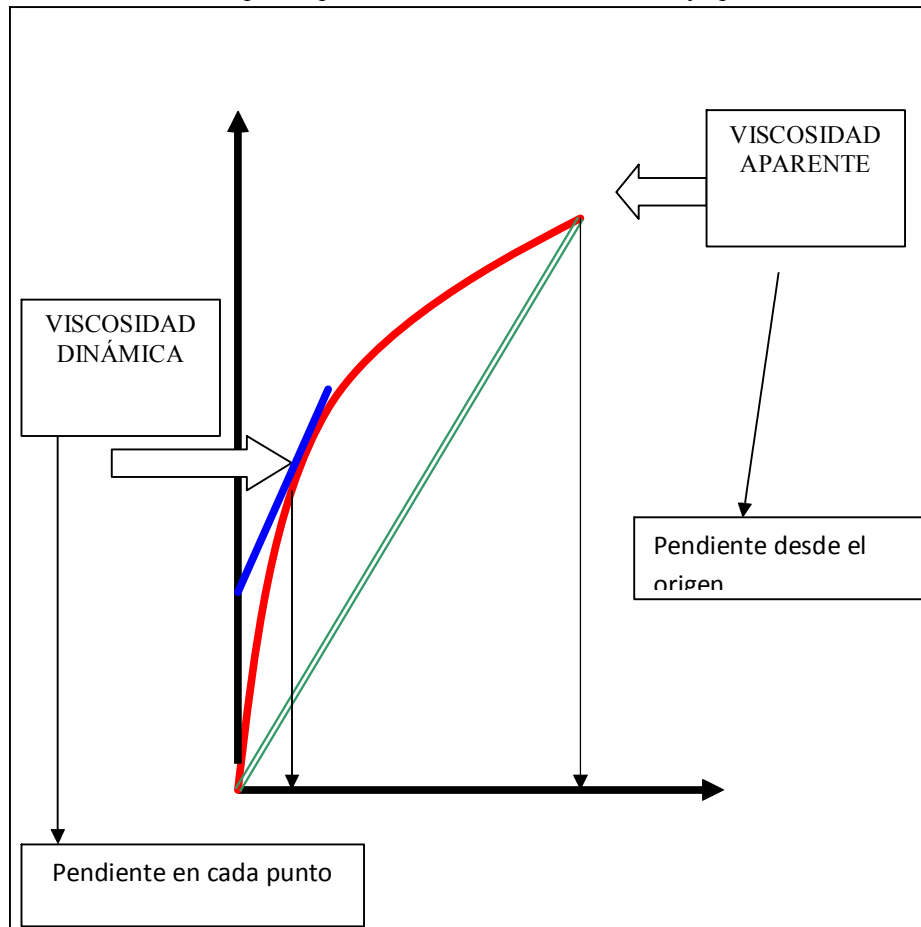
Existen tres tipos de viscosidad: la viscosidad dinámica, la viscosidad cinemática y la viscosidad aparente.

La viscosidad dinámica o absoluta, denominada " μ " se ha visto anteriormente en la ecuación 1. Si se representa la curva de fluidez (esfuerzo cortante frente a velocidad de deformación) se define también como la *pendiente* en cada punto de dicha curva.

En cambio, la *viscosidad aparente* “ μ ” se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Este término es el que se utiliza al hablar de “viscosidad” para fluidos no newtonianos.

Por último existe otro término de viscosidad “ ν ” denominado *viscosidad cinemática*, que relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del fluido utilizado. Las unidades más utilizadas de esta viscosidad son los centistoke.

Figura 11. Curva de fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente.



Existen 3 tipos de fluidos:

- Newtonianos (proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación).
- No Newtonianos (no hay proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación)