

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**ESCUELA DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICO
BIOLÓGICAS.**

“DESARROLLO DE YOGHURT BAJO EN GRASAS
SUPLEMENTADO CON PREBIÓTICOS DE ALTO PESO
MOLECULAR”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

p. Q. F. B. GERARDO RUÍZ TÉLLEZ

ASESORES:

D. C. CARLOS RUBÉN SOSA AGUIRRE

D. C. RAFAEL TZINTZUN RASCÓN

Enero 2007

AGRADECIMIENTOS.

Con gran cariño y gratitud a mis adorados padres:

María Elena Téllez Naranjo por motivarme a seguir adelante sin desistir y

*J. Miguel Ruíz Ferreyra, que donde quiera que tú estés, yo sé que siempre
estuviste delante de mí, guiando mis pasos.*

Con mucho amor a mis hermanas y sus esposos:

Selene Ruíz Téllez y Julio Cesar López Ramírez;

Bricia Lizeth Ruíz Téllez y Carlos Alberto Jacobo Gómez.

A mis peques, mis lindas sobrinas:

Beatriz, Gabriela, Samantha y Carlita.

*A todos ustedes mi familia, no me queda más que agradecerles su apoyo
incondicional, sus consejos, palabras de aliento que me motivaron para luchar sin
descanso por lograr mis objetivos y concluir mi formación profesional.*

A mis asesores el D. C. Rafael Tzintzun Rascón y el D. C. Carlos Rubén Sosa Aguirre, por haberme brindado su confianza y por apoyarme en el desarrollo de esta tesis.

A todos mis amigos de la escuela de Q.F.B. y del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas: Rosy, Mago, Brenda, Vicky, Lucy, Yedis, Contreras, Nesh, Noé, Lalo, Pancho, Merlos, Mario, Lili, Yola, Lore, Cesar Castro, David, Crisánto, Edith, Arianna y Willy, por haberme permitido compartir esos momentos tan bonitos a su lado y a lo largo de todo este tiempo, por todas esas charlas, momentos de tristezas y carcajadas, por haberme brindado su sincera amistad y por ayudarme en los momentos que necesité de todos ustedes.

Al gran amor de mi vida,

Blanca Vianey Corona Robles, por su amor y comprensión.

A todos ustedes...

GRACIAS.

RESUMEN.

El yoghurt es un alimento que históricamente es identificado por ser un producto con alta demanda comercial, ya que al ser un alimento nutritivo ayuda a mantener una adecuada salud en el consumidor. El interés de la industria por la producción de alimentos funcionales ha sido fuertemente impulsada por una nueva educación nutricional en donde la mercadotecnia ha tomado la iniciativa de involucrar a la población con una alimentación sana, en la que están incluidos principalmente los alimentos lácteos, incrementando así el valor agregado de estos mismos. En la cuenca del municipio de Álvaro Obregón, del estado de Michoacán, se encuentra la región productora de leche que abastece, en gran parte, a la ciudad de Morelia, sitio en el cual se localiza la planta procesadora de lácteos "Lechera Michoacana S.A. de C.V." donde se trabajó en el desarrollo de una línea de yoghurt bajo en grasa suplementado con inulinas de alto peso molecular con efecto prebiótico. Haciendo ensayos con lotes de 500 ml de leche empleando distintos aditivos para asegurar la ausencia de sinéresis en el producto final, se encontró que con el uso de este oligofructano a concentraciones de 3% (p/p) y combinando con distintas cantidades de gretina (0.4, 0.5, 0.6 y 0.7 %) se incrementa significativamente la viscosidad del yoghurt sin grasa, según la prueba post hoc de tukey HSD con alfa de 0.05. Con lo que se concluye que el uso de inulina como sustituto de grasa es factible, y a que además de incrementar algunas propiedades reológicas del yoghurt también favorece su valor agregado.

Palabras clave: yoghurt, inulina, prebiótico, probiótico, viscosidad, gretina.

INDICE.

1	MARCO TEORICO.....	1
1.1	ANTECEDENTES HISTORICOS.....	1
1.2	DEFINICIONES LEGALES DEL YUGHRT.....	2
1.2.1	DEFINICION SEGÚN LA NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-185-SSA1-2002).	2
1.2.2	DEFINICIÓN SEGÚN EL CODIGO ALIMENTARIO (CODEX STAN 243-2003).....	3
1.2.3	CLASIFICACIÓN DEL YOGHURT EN BASE A LA TEXTURA.....	3
1.2.4	CLASIFICACIÓN DEL YOGHURT DE ACUERDO A SU CONTENIDO GRASO.....	4
2	ELABORACIÓN DE CULTIVOS LÁCTICOS (INICIADORES).....	5
2.1	GENERALIDADES.....	5
2.1.1	Propagación de cultivos lácticos.....	7
2.2	TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE YOGHURT.....	9
3	PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS FLUIDOS.....	12
4	EL YOGHURT COMO ALIMENTO FUNCIONAL (NUTRACEUTICO).....	14
4.1	DEFINICIÓN DE ALIMENTO FUNCIONAL.....	15
4.2	PROBIÓTICOS.....	17
4.3	PREBIÓTICOS Y SIMBIÓTICOS.....	18
4.3.1	Inulina.....	19
4.3.2	Ficha técnica para elaborar yoghurt (ORAFIT [®]).....	24
5	JUSTIFICACIÓN.....	26
6	HIPÓTESIS.....	26
7	OBJETIVO GENERAL.....	27
7.1	OBJETIVOS PARTICULARES.....	27

8	DISEÑO EXPERIMENTAL	28
9	MATERIALES	29
10	MÉTODOS	30
10.1	TÉCNICAS ANALÍTICAS EMPLEADAS.....	30
10.1.1	ÍNDICE DE ACIDEZ (METODO NOM-185-SSA1-2002).....	30
10.1.2	VISCOSIDAD.....	30
10.2	PRIMER ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT.....	31
10.3	SEGUNDO ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT: ESTANDARIZACIÓN DE LA LECHE A 14, 15 Y 16% DE SÓLIDOS NO GRASOS CON LECHE DESCREMADA Y DESHIDRATADA EN POLVO. ...	32
10.4	ESTUDIO REOLÓGICO DEL YOGHURT FORMULADO Y OTROS YOGHURTS PRESENTES EN EL MERCADO.....	34
10.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	35
11	RESULTADOS	36
11.1	PRIMER ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT:.....	36
11.2	SEGUNDO ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT: ESTANDARIZACIÓN DE LA LECHE A 14, 15 Y 16% DE SÓLIDOS NO GRASOS CON LECHE DESCREMADA Y DESHIDRATADA EN POLVO.	39
11.3	TERCER ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT.....	41
11.3.1	ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO.....	43
11.4	ANÁLISIS REOLÓGICO DE LOS YOGHURTS.....	45
11.4.1	ANÁLISIS REOLÓGICO DE LOS SISTEMAS DESARROLLADOS.....	45
11.4.2	ANÁLISIS REOLÓGICO DE ALGUNOS YOGHURTS COMERCIALES.....	46
12	DISCUSIÓN	49
12.1	FORMULACIÓN.....	49
12.2	ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO.....	49
12.3	ANÁLISIS REOLÓGICO.....	50

12.4	COMPARACIÓN DE LAS VISCOSIDADES DE LOS SISTEMAS DESARROLLADOS Y LOS YOGHURTS COMERCIALES.....	50
13	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	53
14	CONCLUSIONES.....	61
15	BIBLIOGRAFIA.....	62

Índice de Figuras

FIGURA 1. PREPARACIÓN DE FERMENTOS LÁCTICOS, RESIEMBRA POR DIVISIÓN. (TZINTZUN, 2003).....	8
FIGURA 2 PREPARACIÓN DE FERMENTOS LÁCTICOS POR RESIEMBRA. (TZINTZUN, 2003).....	9
FIGURA 3. TÉCNICA TRADICIONAL PARA LA ELABORACIÓN DE YOGHURT (TAMIME Y ROBINSON, 1997).	11
FIGURA 4. TÉCNICA MEJORADA PARA LA ELABORACIÓN DE YOGHURT (TAMIME Y ROBINSON, 1997).....	12
FIGURA 5 DEGRADACIÓN DE LA INULINA A TRAVÉS DEL TRACTO DIGESTIVO.	22
FIGURA 6 CAMBIOS EN LA POBLACIÓN MICROBIOLÓGICA DEBIDOS AL CONSUMO DE INULINA (ORAFIT [®]).	23
FIGURA 7 ABSORCIÓN DE CALCIO CON INULINA EN COMPARACIÓN CON UN PLACEBO (ORAFIT [®]).	23
FIGURA 8 PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGHURT RECOMENDADO POR ORAFIT [®]	25
FIGURA 9 YOGHURT DESGRASADO ENRIQUECIDO CON 3% DE LECHE DESCREMADA EN POLVO (FORMULACIÓN 1).	37
FIGURA 10. YOGHURT DESGRASADO SUPLEMENTADO CON 6% DE INULINA (FORMULACIÓN 2).	37
FIGURA 11. YOGHURT DESGRASADO ENRIQUECIDO CON 3% DE LECHE DESCREMADA EN POLVO Y SUPLEMENTADO CON 3% DE INULINA (FORMULACIÓN 3).....	38
FIGURA 12. COMPARACIÓN DE LAS FORMULACIONES DE LAS TABLAS 6, 7 Y 8.....	38
FIGURA 13. YOGHURT DESGRASADO ESTANDARIZADO A 14% DE EXTRACTO SECO MAGRO.	40
FIGURA 14. YOGHURT DESGRASADO ESTANDARIZADO A 15% DE EXTRACTO SECO MAGRO.	40
FIGURA 15. YOGHURT DESGRASADO ESTANDARIZADO A 16% DE EXTRACTO SECO MAGRO.	41
FIGURA 16. YOGHURTS MUESTRA BLANCO DESARROLLADOS CON LA FORMULACIÓN DE LA TABLA 12.....	44
FIGURA 17 YOGHURTS SUPLEMENTADOS CON INULINA Y FRUTADOS CON MERMELADA DE FRESA CON LAS FORMULACIONES DE LA TABLA 13 Y 14.	44
FIGURA 18. INFLUENCIA DE LA GRENETINA EN EL PERFIL DE VISCOSIDAD DE LOS YOGHURTS ELABORADOS. LAS ESCALA ES LOGARÍTMICA EN LAS VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES. LAS LÍNEAS TRAZADAS DESCRIBEN LA PENDIENTE DE LOS YOGHURTS EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GRENETINA	47
FIGURA 19. PERFIL DE VISCOSIDAD DE ALGUNOS YOGHURTS COMERCIALES.	48
FIGURA 20. COMPARACIÓN DE LOS PERFILES DE VISCOSIDAD DE LOS SISTEMAS DESARROLLADOS Y YOGHURTS COMERCIALES.	52

FIGURA 21. VISCOSIDAD DEL YOGHURT A 0.5 RPM. (GRUPOS HOMOGÉNEOS).....	56
FIGURA 22. VISCOSIDAD DEL YOGHURT A 4 RPM. (GRUPOS HOMOGÉNEOS).....	58
FIGURA 23. VISCOSIDAD DEL YOGHURT A 100 RPM. (GRUPOS HOMOGÉNEOS).....	60

Índice de Tablas

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DEL YOGURT DE ACUERDO A LA TEXTURA.	4
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DEL YOGHURT POR SU CONTENIDO GRASO.	4
TABLA 3 EFECTOS BENÉFICOS DE BACTERIAS PROBIÓTICAS.	18
TABLA 4 FORMULACIÓN DE YOGHURT DE ACUERDO CON ORAFTI®	24
TABLA 5 FORMULACIÓN DE YOGHURT COMO CONTROL.....	28
TABLA 6. FORMULACIÓN 1: VALORACIÓN PARA LA ADICIÓN DE LECHE DESCREMADA EN POLVO.	31
TABLA 7 FORMULACIÓN 2: VALORACIÓN DE INULINA COMO ÚNICO SUSTITUTO DE GRASA.....	32
TABLA 8 FORMULACIÓN 3: VALORACIÓN DE LA COMBINACIÓN DE LECHE DESCREMADA EN POLVO E INULINA.	32
TABLA 9 ESTANDARIZACIÓN A 14% POR ADICIÓN DE SÓLIDOS NO GRASOS.	33
TABLA 10 ESTANDARIZACIÓN A 15% POR ADICIÓN DE SÓLIDOS NO GRASOS.	33
TABLA 11 ESTANDARIZACIÓN A 16% POR ADICIÓN DE SÓLIDOS NO GRASOS.	34
TABLA 12. FORMULACIÓN DE YOGHURT COMO CONTROL.....	41
TABLA 13. FORMULACIÓN DE YOGHURT COMO MUESTRA BLANCO.....	42
TABLA 14. FORMULACIÓN DE YOGHURT SUPLEMENTADO CON INULINA EN CONCENTRACIÓN PORCENTUAL DE 3G. (SISTEMA “A”)	42
TABLA 15. FORMULACIÓN DE YOGHURT SUPLEMENTADO CON INULINA Y MERMELADA DE FRESA EN CONCENTRACIÓN PORCENTUAL DE 3G Y 15G RESPECTIVAMENTE (SISTEMA “B”)	42
TABLA 16. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS DE LAS VISCOSIDADES A 0.5 RPM (SISTEMA Vs. SISTEMA, PRUEBA POST HOC DE TUKEY HSD).	55
TABLA 17. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS DE LAS VISCOSIDADES A 4 RPM. (SISTEMA Vs. SISTEMA, PRUEBA POST HOC DE TUKEY HSD).	57
TABLA 18. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS DE LAS VISCOSIDADES A 100 RPM (SISTEMA Vs. SISTEMA, PRUEBA POST HOC DE TUKEY HSD).	59

1 MARCO TEORICO.

1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.

Cualquiera de los países del medio oriente o de los Balcanes, podría reclamar ser la cuna del yoghurt, su verdadero origen no se ha podido determinar. Como dato histórico conviene señalar que, al parecer fue Mesopotámia donde se logró domesticar a una cabra por vez primera, alrededor del año 5000 a. C., su leche se almacenó tibia en calabazas huecas y con la ayuda del clima caliente de la región se formó la cuajada (Morales de León, 2000). Alguien, con la incertidumbre de saber que era lo que se había originado probó esa masa extraña y dió un veredicto favorable. La historia confirma que por este camino se inició la elaboración del yoghurt, cuyo nombre es de origen turco.

El profesor ruso Elia Metchnikoff, del Instituto Pasteur de Paris, Francia (premio Nóbel 1908), propuso que el yoghurt era una especie de “alimento mágico” y que el ácido láctico de éste podría liberar al intestino grueso de “bacterias dañinas” como Clostridium, bacteroides y fusobacterias además de prevenir infecciones intestinales ocasionadas por Candida enteritis y Helicobacter pylori ulcus, además de producir en el tubo digestivo, grandes cantidades de vitamina B que se absorbía y distribuía en todo el cuerpo (Saavedra J., 1995). El profesor Metchnikoff aisló e identificó los microorganismos que producían el yoghurt, lo que hizo posible la elaboración de este alimento a gran escala.

Posteriormente Isaac Carasso, un hombre español dedicado a los negocios, impresionado por la investigación del ruso, elaboró un cultivo de yoghurt para su venta en farmacias, el cual era utilizado por los pediatras para prevenir la diarrea en niños (Saavedra J., 1995). Más tarde se extendió su mercado a Francia donde fundó la empresa hoy conocida como Danone y después llevada a los Estados Unidos.

En América su hijo Daniel, fundó una pequeña fábrica en los alrededores de Nueva York. El joven Carasso se asoció con Joe Metzger y los dos se propusieron difundir el consumo del yoghurt en la región y lo promovieron como un producto de buen sabor, enfoque que le aseguró al yoghurt el éxito comercial en los Estados Unidos.

A finales de los años '70 el yoghurt aparece en el mercado Mexicano, observándose desde entonces una tendencia positiva en su producción y consumo, estimándose en la actualidad en más de 66000 ton/año (Tzintzun, 2002).

1.2 DEFINICIONES LEGALES DEL YUGHURT.

1.2.1 DEFINICION SEGÚN LA NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-185-SSA1-2002).

Para esta norma se entiende por yoghurt, al producto obtenido de la fermentación de la leche mediante la acción de microorganismos específicos cuyo resultado sea la reducción del pH, adicionado o no de aditivos para alimentos e ingredientes opcionales. (SSA 2006).

1.2.2 DEFINICIÓN SEGÚN EL CODIGO ALIMENTARIO (CODEX STAN 243-2003).

De acuerdo al Codex Alimentarius, la leche fermentada es un producto lácteo obtenido por medio de la fermentación de la leche, que puede ser elaborado a partir de productos obtenidos de la leche con o sin modificaciones en la composición según las limitaciones de lo dispuesto en la Sección 3.3 del codex stan, por medio de la acción de microorganismos adecuados y teniendo como resultado la reducción del pH con o sin coagulación (precipitación isoeléctrica). Estos cultivos de microorganismos serán viables, activos y abundantes en el producto hasta la fecha de duración mínima. Si el producto es tratado térmicamente luego de la fermentación, no se aplica el requisito de microorganismos viables (Código Alimentario, 2003).

1.2.3 CLASIFICACIÓN DEL YOGHURT EN BASE A LA TEXTURA.

El yoghurt es el más conocido de todos los productos de la leche fermentada en todo el mundo, el consumo de este producto es más común en los países de la región del mediterráneo, Asia y Europa Central.

La consistencia, sabor y aroma varían de un lugar a otro, en algunos lugares, el yoghurt es producido como un líquido altamente viscoso, mientras que en otros países es en forma casi de gel. El yoghurt es también producido en forma congelada como un postre o líquido como una bebida refrescante (tabla 1) (Tetra Pack, 2000).

Tabla 1. Clasificación del yoghurt de acuerdo a la textura.

Tipo de yoghurt	Características
Sólido	Empacado en forma individual, Incubado y enfriado.
Batido	Incubado en tanques y enfriado después del empaque.
Líquido para beber	Similar al tipo batido, el coagulo es desintegrado a líquido y adicionado de un poco de agua.
Congelado	Incubado en tanques y enfriado como helado de crema.
Concentrado	Incubado en tanques, concentrado y enfriado antes de ser empacado.

1.2.4 CLASIFICACIÓN DEL YOGHURT DE ACUERDO A SU CONTENIDO GRASO.

El contenido de grasa de la leche es normalmente estandarizado de acuerdo a la organización mundial de la salud (O M S), donde, el yoghurt debe tener un contenido de grasa de 0 a 10%. Un contenido de grasa de 0.5 a 3.5% es el más usual. El yoghurt puede ser clasificado en los siguientes grupos de acuerdo a la OMS como se muestra en la tabla 2: (Tzintzun, 2002)

Tabla 2. Clasificación del yoghurt por su contenido graso.

Tipo de yoghurt	Características
Entero	Grasa mínima en leche de 3%
Parcialmente descremado	No mas de 3% y no menos de 0.5% de grasa
Sin grasa o descremado	Grasa máxima de 0.5%

2 ELABORACIÓN DE CULTIVOS LÁCTICOS (INICIADORES).

2.1 GENERALIDADES.

La calidad reológica de los productos lácteos fermentados depende de la correcta selección, conservación, manejo y resiembra o propagación de los cultivos iniciadores; y es lo que permite estandarizar y mantener una calidad uniforme del producto final (Tamime y Robinson, 1997).

Este proceso de elaboración de cultivos iniciadores comprende la proliferación de cultivos viables, ya sea con una sola especie o una mezcla de dos o más microorganismos y que estos estén presentes en una relación determinada, haciendo una selección cuidadosa de cepas que proporcionen al producto las características físico-químicas y sensoriales deseadas (aroma, textura, consistencia, sabor); una variación en la relación numérica de estos microorganismos en el cultivo (en caso de ser mixto) producirá alguna alteración en el producto (Sánchez, 2000).

Los cultivos microbianos se guardan en pequeñas cantidades conocidas como “cultivos de reserva o cultivo maestro”. Cuando estos cultivos son reactivados para su utilización, en las industrias lácteas se recurre a sistemas de siembra a gran escala con objeto de obtener la biomasa requerida (Tamime y Robinson, 1997).

Un cultivo iniciador definitivo debe reunir las siguientes características (Tamime y Robinson, 1997):

- Contener el máximo número de células viables;
- Estar libre de contaminantes biológicos (coliformes, mohos o levaduras y fagos)

- Presentar actividad en las condiciones de procesado, por lo que el mantenimiento de los cultivos intermedios es importante.

Estos cultivos iniciadores se siembran en medios estériles, regularmente leche descremada al 9% de Extracto Seco Magro (E.S.M.), pudiéndose almacenar por las siguientes técnicas:

- refrigeración, es aplicable para periodos de almacenamiento cortos (algunos meses);
- Concentración y separación de los microorganismos de los productos finales de su metabolismo y resuspendidos en medios estériles;
- Conservación por deshidratación en frío.

La viabilidad de los cultivos conservados depende de:

- El medio de cultivo base;
- La presencia de agentes crioprotectores;
- La rápida eliminación de los metabolitos (ácido láctico y otros compuestos orgánicos de bajo peso molecular)
- La naturaleza del medio de suspensión;
- Las condiciones de deshidratación o congelación;
- La velocidad de descongelación;
- El método de concentración (Tamime y Robinson, 1997).

2.1.1 Propagación de cultivos lácticos.

Existen distintas técnicas para la propagación de microorganismos, cada una de ellas varía según el microorganismo y el tipo de medio de cultivo requerido para éste. Regularmente se labora sobre medios líquidos, por ejemplificar en este caso el medio a emplear es la leche; esta es inoculada con microorganismos procedentes de una cepa selecta que posteriormente es incubada hasta desarrollar una acidez de 90 grados Dornic (La acidez expresada en grados Dornic ($^{\circ}$ D) es el número de décimas de ml de NaOH 0.1N necesarios para neutralizar frente a la fenolftaleína 9 ml de leche), a partir de aquí las técnicas de propagación pueden diferir unas con otras. A continuación se describen dos técnicas de propagación usadas en la escuela superior de Lactología de Nancy, Francia (Tzinzun, 2003, b).

2.1.1.1 Resiembra por división Técnica de la escuela superior de Lactología, Nancy, Francia.

La cepa liofilizada es inoculada en un medio de leche descremada rehidratada al 10% E.S.M., e incubada a 22°C por 16 a 18 hrs., una vez que se llega a la acidez requerida este fermento es fraccionado en volúmenes adecuados para ser el inóculo (2-5%) de nuevos medios lácticos (Tzintzun, 2003).

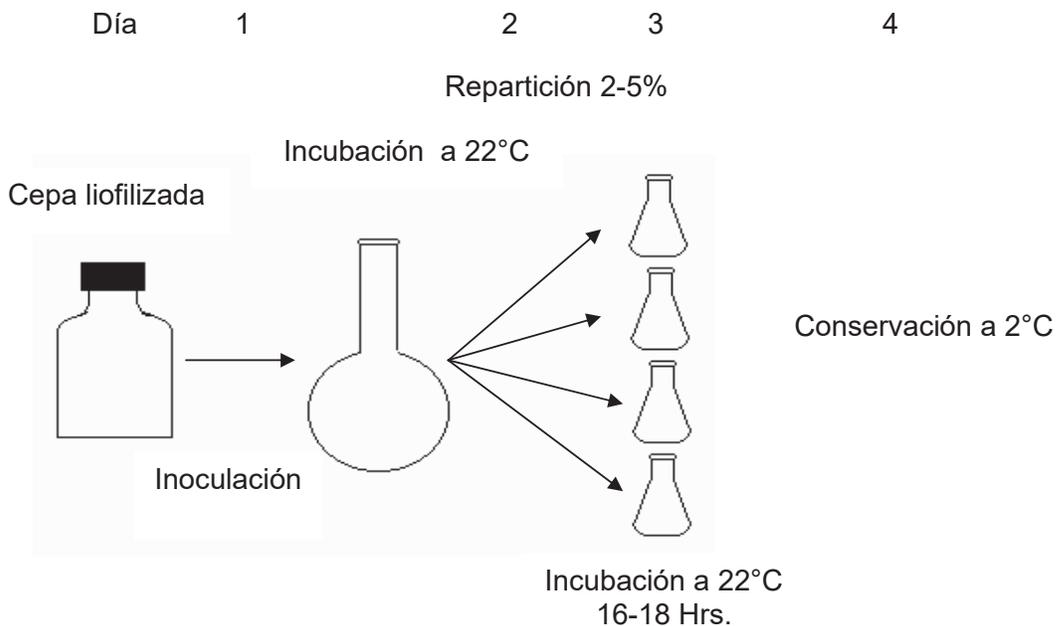


Figura 1. Preparación de fermentos lácticos, resiembra por división. (Tzintzun, 2003).

2.1.1.2 Resiembra por multiplicación Técnica de la escuela superior de Lactología, Nancy, Francia.

Se parte de una cepa liofilizada que es inoculada en leche rehidratada al 10% de E.S.M. e incubada a 22°C por 16 a 18 hrs. , una vez alcanzada la acidez de 90°D este fermento es empleado en su totalidad como inóculo para otro volumen mayor de leche.

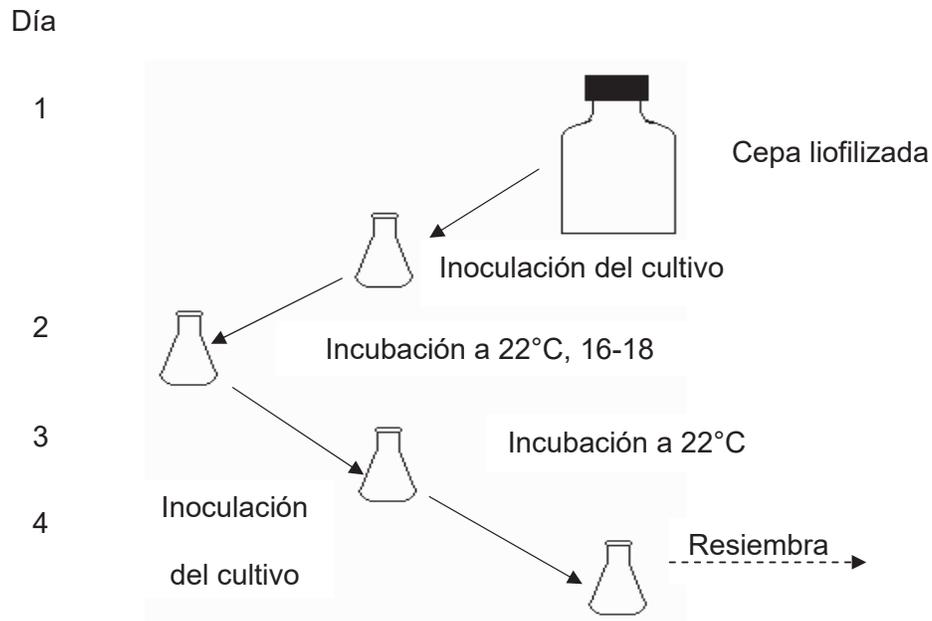


Figura 2 Preparación de fermentos lácticos por resiembra. (Tzintzun, 2003).

2.2 TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE YOGHURT.

El proceso de elaboración de yoghurt es una actividad antigua, en la actualidad se han adaptado y estandarizado procesos para su producción, pero aun hoy en día se sigue elaborando este alimento de forma tradicional (Figura 3); concentrando la leche por ebullición hasta reducir su volumen a dos terceras partes de su volumen inicial y enfriándolo a una temperatura que sea tolerable al tacto; posteriormente, es inoculado con yoghurt elaborado el día anterior e incubado hasta la obtención de un coágulo. A pesar de que con este proceso se puede elaborar yoghurt, esto solo se aplica para producción a pequeña escala. Tratándose de volúmenes superiores se ha hecho una transferencia de tecnología al proceso anterior, en el cual se estandariza el proceso

para tener un control de calidad y mantener una repetibilidad y uniformidad en la producción, que se conoce como técnica mejorada para la elaboración de yoghurt (Figura 4). En el cual la leche es sometida a un proceso de estandarización, ya sea en cuestión de contenido graso o de sólidos no grasos, y adicionada de estabilizantes para aumentar el rendimiento y evitar la sinéresis en el producto final. Posteriormente, es sometido a una homogenización mecánica para disolver adecuadamente los ingredientes en la leche para continuar con la pasteurización en un intercambiador térmico de placas a 95 °C sostenido por 15 seg. y enfriado a 40-45 °C para ser inoculado (2-5%) y fermentado hasta alcanzar una acidez de 90°D aproximadamente en 3.5 h., y enfriado para su envasado individual y almacenaje (Tamime y Robinson, 1997).

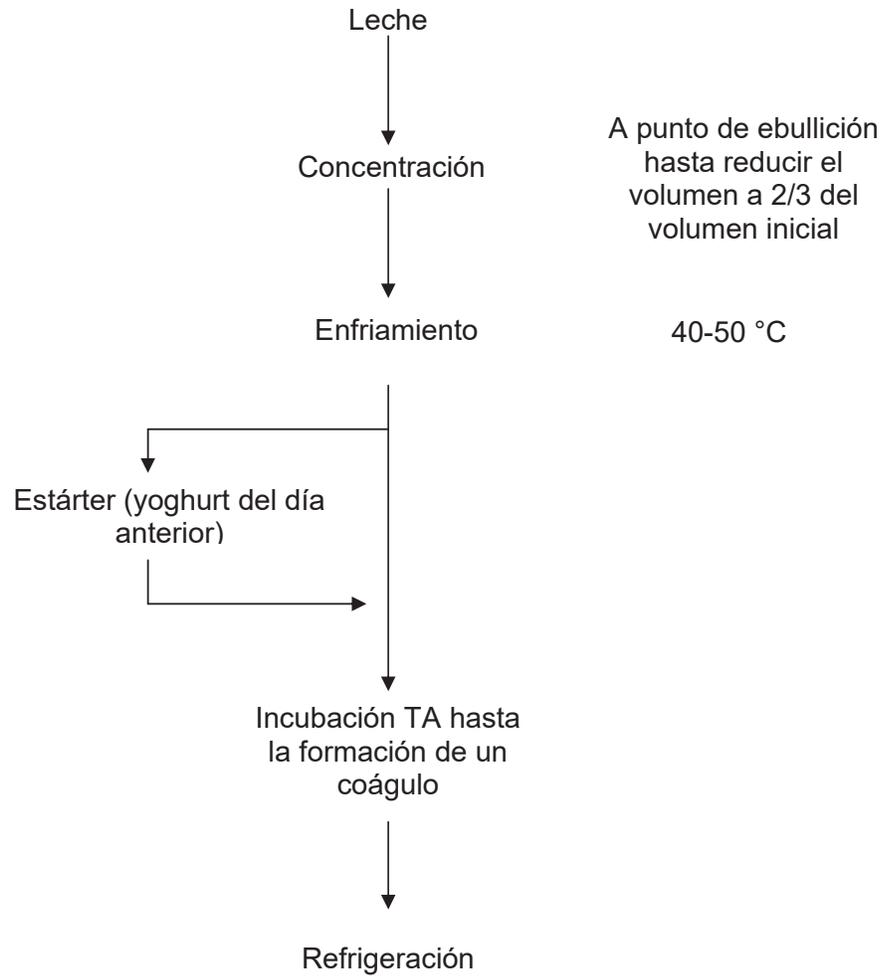


Figura 3. Técnica tradicional para la elaboración de yoghurt (Tamime y Robinson, 1997).

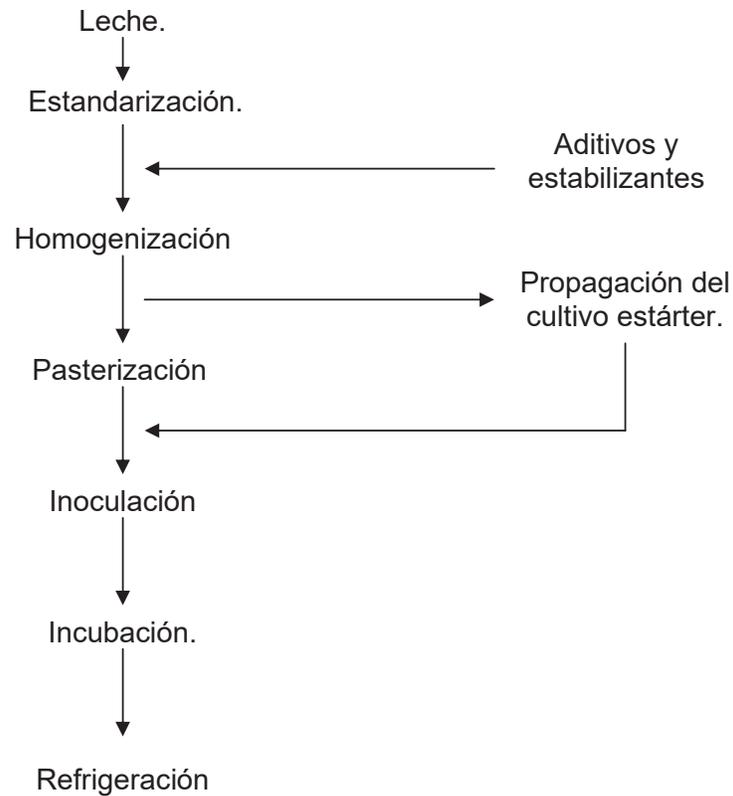


Figura 4. Técnica mejorada para la elaboración de yoghurt (Tamime y Robinson, 1997).

3 PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS FLUIDOS.

Los fluidos tienen distintas características reológicas, que pueden ser caracterizadas por un viscosímetro; existen dos categorías de fluidos:

Fluidos newtonianos: tienden a tener la misma viscosidad a distintas razones de corte (distintas RPM's) y son llamados newtonianos por sostenerse sobre un mismo rango de razón de corte al ser medidos.

Fluidos no newtonianos: estos fluidos tienen diferente viscosidad a diferente razón de corte, están divididos en dos grupos:

1) No newtonianos tiempo independiente conservan una misma viscosidad a una razón de corte constante por periodos de tiempo indefinidos , pero disminuye su viscosidad conforme aumenta la razón de corte a que son expuestos.

2) No newtonianos tiempo dependiente. La dependencia del tiempo se define como el periodo de tiempo que el fluido en estudio es sometido a una razón de corte. De ahí que estos fluidos muestren cambios en la viscosidad conforme cambia la razón de corte y el paso del tiempo.

Tiempo independiente.

Pseudoplástico: un material de esta clase muestra un descenso en la viscosidad conforme incrementa la razón de corte.

Plástico: un fluido de este tipo tiende a ser un sólido bajo condiciones estáticas. Una cierta importancia de fuerza o “valor umbral”, si este llega a ser excedido los fluidos plásticos pueden mostrarse como fluidos Newtonianos, Pseudoplásticos o Dilatantes.

Dilatante: los fluidos dilatantes incrementan su viscosidad con el incremento de la razón de corte.

Tiempo dependiente.

Tixotrópico: este material decrece su viscosidad bajo una constante razón de corte.

Reopécticos: un fluido de esta clase se caracteriza por incrementar su viscosidad bajo una constante razón de corte (Brookfield engineering laboratories, inc.)

4 EL YOGHURT COMO ALIMENTO FUNCIONAL (NUTRACEUTICO).

Desde hace cientos de años el yoghurt se consume como alimento y se le ha asociado con beneficios a la salud, por lo que el interés científico sobre estos aspectos se ha incrementado en las últimas dos décadas; en las que varios investigadores estudiaron los posibles efectos Probióticos relacionados al consumo del yoghurt y a las bacterias lácticas asociadas a éste.

Dado que el yoghurt y las leches fermentadas son alimentos y no medicinas, y que además son consumidos principalmente por su agradable sabor, a continuación se discuten algunos postulados de los aspectos preventivos y con menor énfasis los posibles efectos curativos; de estos se destacan, su efecto sobre: la diarrea, la digestión de la leche (intolerancia a la lactosa) y algunas de las enfermedades que afectan el sistema inmune (Tamime y Robinson, 1997).

1. Diarrea.

El yoghurt reduce la duración de ciertos tipos de diarrea especialmente en niños; la OMS recomienda, cuando sea posible, que durante el tratamiento de la diarrea, el yoghurt debería reemplazar a la leche para reestablecer paulatinamente la población bacteriana del tracto digestivo, debido a dos factores

a) disminución de la flora benéfica originada por el consumo de antibióticos de amplio espectro, por esta causa es recomendable el consumo de yoghurt,

b) la indigestión provocada por las afecciones causadas por microorganismos como *E. coli*, *Helicobacter pylori* y *Candida enteritis* (Pereg y col., 2005).

2. Infecciones intestinales.

La acidez del yoghurt inhibe microorganismos patógenos ligados al consumo de alimentos contaminados especialmente por *Clostridium difficile* por lo que se sostiene como un tratamiento profiláctico efectivo para algunas infecciones intestinales (Marteau y col., 2001).

3. Intolerancia a la lactosa.

Los resultados de investigaciones realizadas a la fecha con las bacterias ácido lácticas, indican que los individuos con deficiencia de lactasa (enzima que hidroliza la lactosa de la leche), digieren mejor la lactosa a partir del yoghurt que a partir de la leche (De Vrese y col., 2001). Esto se debe a que, las leches fermentadas contienen menos lactosa que las leches no fermentadas, además de la presencia de la enzima β -galactosidasa producida por la bacteria *S. thermophilus*. Consecuentemente, se observa una disminución en los síntomas de la intolerancia como son: inflamación del abdomen, flatulencia y diarrea (Tamime y Robinson, 1997).

4. Función inmune.

Los resultados de diversos estudios en humanos indican que el consumo de yoghurt puede estimular ciertos intermediarios de la respuesta inmune como es la producción de citocinas e interferones (Meydani y Woel, 2000), y la cantidad de células blancas de defensa como son los macrófagos y los linfocitos (Schiffrin y col., 1997)

4.1 DEFINICIÓN DE ALIMENTO FUNCIONAL.

Los conceptos básicos de la nutrición están experimentando un cambio significativo. En la actualidad, el concepto clásico de "nutrición adecuada", es decir, aquella que se aporta al consumidor, a través de los alimentos, los nutrientes (hidratos

de carbono, proteínas, grasas, vitaminas y minerales) suficientes para satisfacer las necesidades orgánicas particulares de él mismo, tiende a ser sustituido por el de "nutrición óptima", que incluye, además de la definición anterior, la potencialidad de los alimentos para promocionar la salud, mejorar el bienestar y reducir el riesgo de desarrollar enfermedades. En este ámbito aparecen los alimentos funcionales.

Un alimento se considera funcional porque, además de destacar por sus propiedades nutritivas, contiene ciertos elementos, cuyo consumo diario dentro de una dieta equilibrada contribuye a mantener o mejorar nuestro estado de salud y bienestar.

No existe una definición universalmente aceptada para los alimentos funcionales, al tratarse más bien de un concepto que de un grupo de alimentos. En Europa, el primer documento de consenso sobre conceptos científicos en relación con los alimentos funcionales fue elaborado en 1999 por un grupo de expertos coordinados por el ILSI (International Life Sciences Institute), según el cual *"un alimento funcional es aquel que contiene un componente, nutriente o no nutriente, con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, con un efecto añadido por encima de su valor nutricional y cuyos efectos positivos justifican que pueda reivindicarse su carácter funcional o incluso saludable"*.

El yoghurt es considerado un alimento funcional porque se ha demostrado satisfactoriamente sus efectos benéficos en una o más funciones de nuestro cuerpo, además de sus efectos nutricionales, brindando una mejor calidad de vida y/o reduciendo riesgos de adquirir alguna enfermedad (Diplock y col., 1999; Roberfroid, 2002).

Desde la antigüedad se conocían algunas de las propiedades del yoghurt, Claudio Galeno, famoso médico del siglo II de nuestra era e Hipócrates afirmaban que el yoghurt poseía un efecto purificador benéfico para el estómago. (Morales de León, 2000)

4.2 PROBIÓTICOS.

Los probióticos son definidos como microorganismos no patógenos que, cuando son ingeridos por un individuo, conducen una influencia positiva en su fisiología o salud (Dune y col., 1999).

A la fecha, ha sido reportado que consumiendo productos de leches fermentadas con líneas selectas de bacterias ácido lácticas, pueden emplearse como tratamiento preventivo para infecciones, afecciones gastrointestinales, y alergias a determinado tipo de alimentos (Diplock y col., 1999).

Se ha demostrado que algunas bacterias probióticas tienen propiedades inmunoestimuladoras en la salud de algunos sujetos debido al incremento de defensas del sistema inmune innato del humano (Dune y col., 1999) (Tabla 3). Estudios recientes en humanos mostraron efectos positivos sobre la ecología microbiana intestinal, cuando el número de células de *Clostridium perfringens* fue reducido (Guerrero, 2000).

Tabla 3 Efectos benéficos de bacterias probióticas (Schiffirin y col, 1995).

Efecto	Comentario
Protección contra infecciones en la mucosa del tubo gastrointestinal	Antagonismo entre probiótico y patógeno. Corrección de la ecología intestinal Modulación de las defensas contra patógenos.
Inmunomodulación	Regulación de la respuesta inmune local y reacción inflamatoria. Modulación de la homeostasis del sistema inmune.
Mejora la digestión	Intolerancia a la lactosa.

4.3 Prebióticos y simbióticos.

Son ingredientes que pueden ser incluidos en la dieta, capaces de estimular el crecimiento o la actividad de la microflora benéfica del intestino (Rowland y Mollet, 2002).

El uso de prebióticos es ahora un acceso para incrementar la población bacteriana dentro del intestino. Estos son ingredientes dietarios que no son hidrolizados ni absorbidos a lo largo del intestino, solo están disponibles para la fermentación por un limitado tipo de bacterias (Danone®, 2003). De los carbohidratos de cadena corta con reconocido efecto prebiótico están incluidos galacto-oligosacáridos, gluco-oligosacáridos, xilo-oligosacáridos, fructo-oligosacáridos e inulina. La potencia de los prebióticos para modular la absorción de glucosa, reducir niveles de colesterol en

suero, aumento del volumen fecal y la inhibición de ciertos microorganismos pueden, en parte, ser relacionados al incremento del potencial de selectividad de la población de bifidobacterias en el intestino (Danone[®], 2003).

Los simbióticos, un concepto reciente en el área de los alimentos funcionales, son una combinación de probióticos y prebióticos en una sola preparación. Lo importante es la presencia de un sustrato selectivo con el cual sobreviva un organismo probiótico (Danone[®], 2003).

4.3.1 Inulina.

Los fructo-oligosacáridos (FOS) son polímeros naturales que contienen fructosa y se encuentran en plantas como la achicoria, las dalias, cebollas, ajos, espárragos, plátanos y alcachofas, entre otros. La inulina y la oligofructosa se componen de una cadena lineal de unidades de fructosa con una unidad de glucosa terminal unidas por enlaces $\beta(2-1)$. La longitud de la cadena polimérica puede variar entre 2 y 60 monómeros de fructosa. La Oligofructosa es definida como una fracción de oligosacáridos con grado de polimerización menor de 20, aunque los productos comerciales suelen tener un valor medio de nueve. Los FOS se extraen industrialmente de la achicoria. Mediante extracción, se obtiene la Inulina que se describe como un fructano con un grado de polimerización de 20 a 60 monómeros de fructosa, reservándose el nombre FOS para los productos obtenidos por hidrólisis enzimática de la inulina que tienen un valor medio de polimerización de 9 unidades de fructosa.

Se ha estudiado la toxicidad de los fructo-oligosacáridos demostrándose su inocuidad, aunque dosis masivas de FOS o inulina pueden producir, al igual que otros oligosacáridos, procesos diarreicos.

La Inulina y los FOS están siendo incluidos hoy en día en numerosos productos alimentarios humanos y animales por su efecto positivo como prebiótico estimulante del crecimiento de la flora intestinal no patógena. Ha encontrado aplicación en nutracéuticos, dietética y productos lácteos.

Usos no nutricionales

La Inulina se emplea entre otros en alimentación como sustituto de grasas y modificante de la textura. En concentraciones bajas las soluciones de inulina son viscosas, mientras que en concentraciones de 30 %, forman un gel consistente similar a los observados en alginatos, carragenatos, etc. Las características del gel son dependientes de la temperatura, agitación, longitud de la cadena y concentración de inulina.

Los usos industriales, en alimentación humana y nutrición abarcan la sustitución de grasas ("mayonesas lights", quesos "bajos en calorías"), reducir el contenido calórico (sucedáneos de chocolate), retención de agua (pastelería, panificación, embutidos), evitar la formación de cristales (heladería), emulsionar (margarinas) y en general para modificar la textura de algunos alimentos.

Propiedades

No digerible: cuando se ingiere inulina y oligofructosa, estas llegan al intestino grueso casi en su totalidad porque las enzimas intestinales presentes en la superficie luminal del intestino delgado, alfa amilasas, sacarosas y alfa glucosidasas no presentan actividad frente a este polímero, por lo tanto, alcanzan el tracto final del intestino que a partir del íleon inferior contiene bacterias que son capaces de fermentar estos prebióticos (Figura 5). Por consiguiente estos dos componentes no incrementan los niveles de glicemia e insulina en sangre.

Fibra dietética: la inulina y la oligofructosa son fibras solubles. Dentro de sus efectos más significativos se encuentran los siguientes

- Incrementa el volumen de la masa fecal.
- Disminuye el pH de defecación.
- Disminuye el estreñimiento.
- Disminuye la concentración de lípidos en suero.
- Incrementa la relación HDL/LDL.

La microflora intestinal presente es capaz de metabolizar preferentemente de forma anaerobia los fructo-oligosacáridos, dando lugar a productos de degradación tales como ácidos grasos de cadena corta, dióxido de carbono, aminoácidos y péptidos de cadena corta y otros metabolitos.



Figura 5 Degradación de la inulina a través del tracto digestivo.

Efecto bífidus: extensas investigaciones han demostrado que la ingestión de cantidades moderadas de inulina y oligofruktosa dan como resultado un aumento significativo (de 5 a 10 veces) de la flora bífidobacteriana beneficiosa en la zona intestinal (Figura 6) al mismo tiempo esta fermentación selectiva induce una disminución del pH del medio, debido a la producción de grandes cantidades de lactato y acetato que inhiben el crecimiento de *E. coli*, *Clostridium* y otras bacterias patógenas como *Listeria*, *Shigella* o *Salmonella*, reduciendo significativamente la presencia de la flora bacteriana no deseable.

Esto prueba que la inulina y la oligofruktosa tienen un efecto beneficioso en las bífidobacterias, estimulando su metabolismo y aumentando su actividad y, potencialmente, creando un colon más sano.



Figura 6. Cambios en la población microbiana debidos al consumo de inulina (Orafti®).

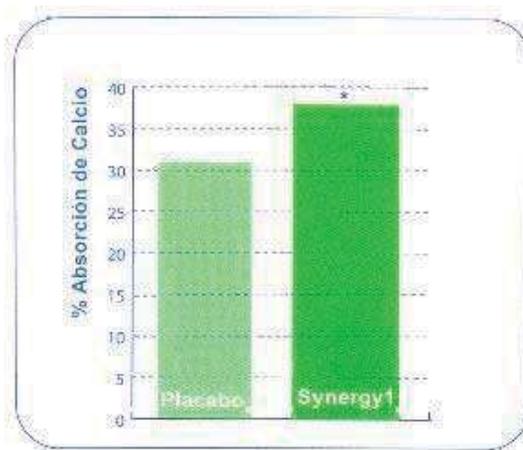


Figura 7. Absorción de calcio con inulina en comparación con un placebo (Orafti®).

Mejor asimilación del calcio. Se ha observado también que una mezcla de inulina y oligofruktosa poseen un efecto sobre la absorción de cationes y de calcio en el humano (Figura 7) mejorando incluso la densidad mineral ósea pudiéndose emplear para la prevención de la osteoporosis.

4.3.2 Ficha técnica para elaborar yoghurt (ORAFIT[®]).

A continuación se muestra el test recetario (tabla 4) para la elaboración de yoghurt recomendado por el proveedor de la inulina en el cual se manifiesta el enriquecimiento de la leche descremada con leche descremada deshidratada para aumentar el contenido de sólidos no grasos en la leche y usar la inulina como un aditivo con efectos viscosantes.

Tabla 4 Formulación de yoghurt de acuerdo con ORAFIT[®].

Ingredientes	Test recetario	
	Cantidad	% p/p
Leche descremada	87.93 L	91.00
Leche descremada deshidratada	3.00 Kg.	3.00
Inulina	3.00 Kg.	3.00
Yoghurt estárter	2.90 L	3.00
Total		100.00

4.3.2.1 Proceso.

La leche se estandariza a 0.05% de sólidos grasos para posteriormente llevarla a 65 °C e incorporar los estabilizantes y la leche descremada en polvo y mezclarlos manualmente, al mismo tiempo elevando la temperatura a 95 °C para su pasteurización por un periodo de 8 min, transcurrido este tiempo, el sistema se enfría a temperatura de inoculación (45 °C) para incorporar 3% de inóculo de bacterias lácticas (*L.*

Bulgaricus y *S. thermophilus*) e in cubado a 45 °C hasta alcan zar un pH de 4.5 (aproximadamente 4hrs.) y finalmente ser enfriado a 5 °C para su almacenamiento.

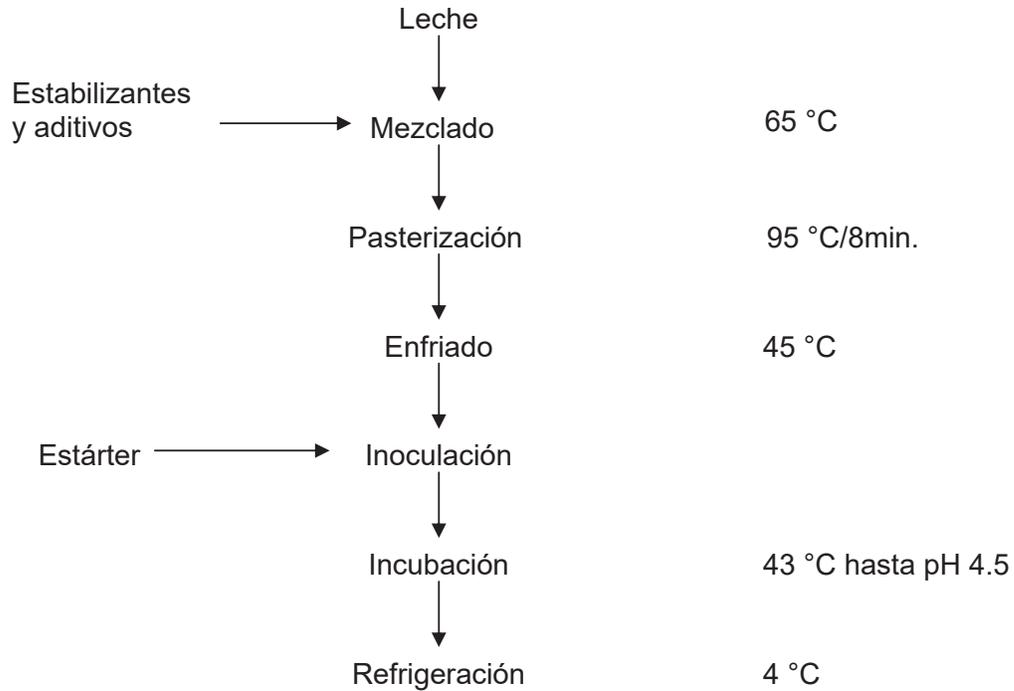


Figura 8. Proceso de elaboración de yoghurt recomendado por orafti®.

5 JUSTIFICACIÓN.

El yoghurt es un producto de gran demanda por la sociedad por sus numerosos efectos benéficos en la salud del consumidor, por lo que su elaboración lo hace un producto rentable en la industria. Si se suplementara con inulina se incrementarían sus propiedades funcionales, favoreciendo la calidad de vida del consumidor y mejorando su funcionamiento fisiológico.

6 HIPÓTESIS.

De acuerdo a las propiedades descritas de los distintos polisacáridos, al incrementarse el grado de polimerización de estos también se incrementa su poder viscosante.

Al elaborar el yoghurt con leche entera se obtiene un gel flexible y terso al paladar, conforme se disminuye su contenido graso el gel se torna a una textura firme y quebradiza. Por ello la necesidad de emplear los aditivos para la obtención de un gel fluido. “Agregando una cantidad significativa de inulina al yoghurt bajo en grasa se puede mejorar las propiedades reológicas del yoghurt incrementando la viscosidad del producto final”.

7 OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar una formulación para yoghurt bajo en grasa usando inulina como agente viscosante y sustituto de la fracción grasa de la leche .

7.1 OBJETIVOS PARTICULARES.

- Estandarizar el proceso de elaboración para este producto.
- Determinar la capacidad de la inulina para incrementar la viscosidad del yoghurt en desarrollo.
- Valorar la factibilidad técnica de emplear inulina como sustituto de grasa butírica en el yoghurt.
- Valorar si la viscosidad del yoghurt adicionado con inulina se encuentra dentro del rango obtenido por la medición de yoghurts presentes en el mercado.

8 DISEÑO EXPERIMENTAL.

Para el desarrollo de esta tesis se diseñaron los pasos a seguir primeramente identificando a la leche descremada producida en la cuenca del municipio de Álvaro Obregón, Michoacán, como la unidad experimental; el experimento se segmentó en dos partes la primera de éstas fue la estandarización del proceso de elaboración de yoghurt de bajo contenido graso y el segundo segmento fue la medición de la viscosidad del yoghurt en función de distintos factores 1) el incremento en la concentración de grenetina, 2) el frutado y 3) la presencia de inulina.

En el primer segmento de este experimento se realizaron varios tipos de procesos para elaborar yoghurt desarrollando distintas formulaciones, del cual solo se seleccionara un proceso que permita hacer yoghurt de bajo contenido graso libre de sinéresis.

En el segundo segmento se midió la viscosidad de los tratamientos que resultaron efectivos, haciendo tres repeticiones por cada tratamiento incluyendo un control (tabla 5)

Tabla 5. Formulación de yoghurt como control.

Componente	Porcentaje
Leche entera	99.225%
Gomas*	0.375%
Grenetina	0.50%
TOTAL	100%

*Goma guar, goma de xantano y pectina.

9 MATERIALES.

- Se empleó leche descremada fluída al 0.05% de sólidos grasos, marca Quala (Lechera La Michoacana; Singuio, municipio de Álvaro Obregón; Michoacán).
- Como prebiótico se empleó inulina liofilizada de la marca RAFTILINE HP de la empresa ORAFIT[®] proporcionada por la empresa Megaf arma S.A. de C.V. de Guadalajara, Jal. Como cultivo láctico se empleo yoghurt natural marca leyde de México, que c ontenía *Lactobacillus delbrueckii* spp. *Bulgáricus* y *Streptococcus salivarius* spp. *Thermophilus*.
- Leche descremada en polvo alpura[®].
- viscosímetro Brookfield modelo HBT.
- Fenolftaleína al 1%.
- Hidróxido de sodio 0.1N.
- Goma guar.
- Goma de xantano.
- Pectina.
- Grenetina.
- Parrilla eléctrica con agitador magnético.
- Baño de hielo.
- Incubadora tipo estufa marca BOEKEL modelo 133000.
- Balanza analítica.
- Pipeta volumétrica de 9 ml.

- Probeta graduada.
- Bureta.
- Recipientes plásticos de 500 ml.
- Vasos de precipitados de 500 ml.
- Vasos de precipitados de 250 ml marca Kimax .
- Vaso de precipitados de 50 ml.

10 MÉTODOS

El proceso tecnológico empleado fue el sugerido por el proveedor de la inulina (descrito en el capítulo 4.3.2 y 4.3.2.1). Para el control del progreso de la fermentación se realizaron pruebas analíticas como: Índice de acidez (Método **NOM-185-SSA1-2002**), Medida de la viscosidad de yoghurt de marcas comerciales y de las formulaciones desarrolladas con un viscosímetro Brookfield modelo HBT.

10.1 TÉCNICAS ANALÍTICAS EMPLEADAS.

10.1.1 ÍNDICE DE ACIDEZ (METODO NOM-185-SSA1-2002).

Se miden volumétricamente 9 ml de leche, se mezclan con tres gotas de indicador de fenolftaleína al 1% en solución alcohólica para posteriormente ser titulados con NaOH 0.1N hasta lograr una coloración rosa tenue.

10.1.2 VISCOSIDAD.

Para medir la viscosidad se empleó el viscosímetro análogo Brookfield (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, MA). Se midieron 250 ml de cada una de las

muestras y se colocaron en vasos de precipitados de 250 mL marca Kimax y se utilizaron las agujas HB-1 y HB-2 para todos los sistemas elaborados. Se tomaron lecturas de fuerza de torque por triplicado a las diferentes velocidades de giro (0-100 rpm) a una temperatura de 11°C.

10.2 PRIMER ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT.

Siguiendo la técnica recomendada por el proveedor de inulina, descrito en el capítulo 4.3.2., se inició la elaboración de yoghurt de bajo contenido graso realizando tres variantes o lotes. En el primer lote se incrementó el contenido de caseína al 6% en la leche, en el segundo lote se adicionó únicamente inulina hasta alcanzar una concentración final de 6%, y el tercer lote se suplementó la leche tanto con caseína como con inulina hasta alcanzar una concentración final del 6% y 3%, respectivamente. Cada formulación se expresa en las tablas 6,7 y 8.

Tabla 6. Formulación 1: Valoración para la adición de leche descremada en polvo.

Ingredientes	Test recetario.	
	Cantidad	% p/p
Leche descremada	93.56 ml.	96.94
Leche descremada en polvo	3.00g	3.00
Estabilizantes	0.06g	0.06
Total		100.00

Tabla 7 Formulación 2: valoración de inulina como único sustituto de grasa.

Ingredientes	Test recetario.	
	Cantidad	% p/p
Leche descremada	90.69 ml.	93.94
Inulina	6.0g	6
Estabilizantes	0.06g	0.06
Total		100.00

Tabla 8 Formulación 3: Valoración de la combinación de leche descremada en polvo e inulina.

Ingredientes	Test recetario.	
	Cantidad	% W/W
Leche descremada	90.69 ml.	93.94
Leche descremada en polvo	3.0g	3.0g
Inulina	3.0g	3.0g
Estabilizantes	0.06g	0.06
Total		100.00

10.3 SEGUNDO ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT: ESTANDARIZACIÓN DE LA LECHE A 14, 15 Y 16% DE SÓLIDOS NO GRASOS CON LECHE DESCREMADA Y DESHIDRATADA EN POLVO.

En este segundo esquema de elaboración de yoghurt se procedió a enriquecer la leche con la adición de leche descremada en polvo y llevarla a valores entre 14 y 16% de sólidos no grasos, tomando en cuenta que el contenido de sólidos no grasos de la leche usada como materia prima están en valores promedio de 7%. En las siguientes tablas (9, 10 y 11) se muestran distintas formulaciones usando como

variante la adición de leche descremada en polvo estandarizando la leche a 14, 15 y 16% de sólidos propios de la leche, concentraciones constantes de fibra, inulina y estabilizantes, todos estos mezclados manualmente por agitación en la leche descremada líquida en pleada como materia prima incorporándose al proces o recomendado por el proveedor.

Tabla 9 Estandarización a 14% por adición de sólidos no grasos.

Ingredientes	Test recetario.	
	Cantidad	% p/p
Leche descremada	88.25 ml.	91.44
Leche descremada en polvo	5.00g	5.00
Estabilizantes*	0.06g	0.06
Inulina	3.00g	3.00
Fibra dietética**	0.5g	0.5
Total		100.00

Tabla 10 Estandarización a 15% por adición de sólidos no grasos.

Ingredientes	Test recetario.	
	Cantidad	% p/p
Leche descremada	87.28 ml.	90.44
Leche descremada en polvo	6.00g	6.00
Estabilizantes*	0.06g	0.06
Inulina	3.00g	3.00
Fibra dietética**	0.5g	0.5
Total		100.00

Tabla 11 Estandarización a 16% por adición de sólidos no grasos.

Ingredientes	Test recetario.	
	Cantidad	% p/p
Leche descremada	86.32 ml.	89.44
Leche descremada en polvo	7.00g	7.00
Estabilizantes*	0.06g	0.06
Inulina	3.00g	3.00
Fibra dietética**	0.5g	0.5
Total		100.00

*Goma guar, goma de xantano y pectina.

**extraída de *Psyllium plantago*.

10.4 ESTUDIO REOLÓGICO DEL YOGHURT FORMULADO Y OTROS YOGHURTS PRESENTES EN EL MERCADO.

Se emplearon las siguientes ecuaciones para el cálculo de la razón de corte y el esfuerzo cortante (Brookfield, 1995):

$$\gamma = \frac{2\omega R_c^2 R_b^2}{R_b^2 (R_c^2 - R_b^2)}$$

donde:

γ : razón de corte (1/s)

ω : velocidad angular de la aguja (Rad./s)

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

R_c^2 : radio del recipiente (cm)

R_b^2 radio de la aguja (cm.)

N : velocidad de giro de la aguja en rpm

$$\tau = \frac{T}{2\pi R_b^2 L}$$

donde:

τ : esfuerzo cortante (Pa o dinas/cm²)

T : torque (N-m o dinas-cm.)

L : altura de la muestra (m o cm.)

10.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el desarrollo de este apartado se empleó el programa para PC ESTADISTICA V6.0 haciendo un ANOVA con la prueba post hoc de Tukey HSD, tomando un alfa de 0.05. Se procesaron los datos obtenidos en el análisis reológico, tomando participación de datos a bajas velocidades (0.5 rpm), velocidades medias (4 rpm) y altas velocidades (100 rpm) obteniendo en estas tres poblaciones la media aritmética y la desviación estándar de cada sistema, además de tablas de diferencias significativas sistema Vs. Sistema, en donde las cifras en color rojo se consideran

diferentes significativamente, en tanto que las cifras en color negro guardan diferencias no significativas (≥ 0.01 la diferencia es no significativa) y representadas en gráficas organizadas por grupos homogéneos que elabora la prueba de Tukey HSD, cada uno de ellos es integrado por los sistemas que no tienen diferencias significativas entre sí, pero todos los grupos son significativamente diferentes entre ellos mismos.

11 RESULTADOS.

11.1 PRIMER ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT:

El primer esquema de elaboración de yoghurt tuvo la finalidad de valorar la propuesta de Orafti® para sustituir las grasas de la leche por inulina y así elaborar un yoghurt bajo en grasas, usando la leche de la región de Álvaro Obregón para la elaboración de este último.

Este enriquecimiento con leche descremada en polvo no favoreció la estabilidad del gel para las formulaciones 1 y 2 mencionadas anteriormente en la sección 10.2, donde gráficamente se muestra en las figuras 9 y 10 el resultado del proceso de fermentación láctica realizada bajo el primer esquema de elaboración con que el enriquecimiento con leche deshidratada no evito la sinéresis en el producto final. La combinación de ambos aditivos (inulina y leche deshidratada) logro una mejora en la estabilidad del producto final (Figura 11). Sin embargo, en los tres casos la sinéresis se presentó gradualmente conforme se incremento la acidez durante el proceso de fermentación.



Figura 9 Yoghurt desgrasado enriquecido con 3% de leche descremada en polvo (Formulación 1).



Figura 10. Yoghurt desgrasado suplementado con 6% de inulina (Formulación 2).



Figura 11. Yoghurt desgrasado enriquecido con 3% de leche descremada en polvo y suplementado con 3% de inulina (Formulación 3).



Figura 12. Comparación de las formulaciones de las tablas 6, 7 y 8.

11.2 SEGUNDO ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT: ESTANDARIZACIÓN DE LA LECHE A 14, 15 Y 16% DE SÓLIDOS NO GRASOS CON LECHE DESCREMADA Y DESHIDRATADA EN POLVO.

En teoría este proceso ofrecía una mejora en la producción del yoghurt en cuestiones de estabilidad y reología, como se había encontrado en el anterior esquema de elaboración de yoghurt, en el cual se obtuvo un mínimo de sinéresis por la combinación de inulina y leche descremada en polvo, y en dicho enriquecimiento para este esquema no se encontraron los resultados esperados; se observó que el producto de la fermentación ácido láctica presentó una textura arenosa y espesa, quizá ocasionada por un exceso de sólidos que no fueron disueltos correctamente por la ausencia de tecnología adecuada para realizar una homogenización o de lo contrario por el uso de un cultivo viejo; esta última situación es contemplada porque la edad de este era aproximadamente de dos semanas. Primordialmente la sinéresis siguió siendo un factor importante que ocasionaba una baja calidad en el producto, problema que no se logró resolver en ese momento. Observamos que el uso de aditivos gelatinizantes, como la goma guar, pectinas y fibra dietética, juega un papel importante para mejorar el rendimiento en la producción de yoghurt (Figuras 13, 14 y 15). Por el contrario, el uso de fibra dietética no inhibió la sinéresis en el yoghurt conforme se siguió el incremento en la concentración de ácido láctico, y haciéndose más notorio el efecto de la sinéresis con el paso del tiempo. Así, los resultados obtenidos llevaron la investigación al replanteamiento de una nueva fórmula y proceso de producción.

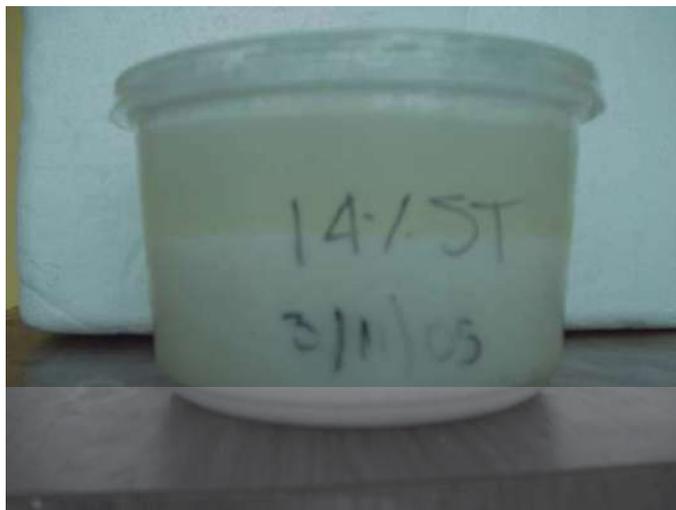


Figura 13. Yoghurt desgrasado estandarizado a 14% de extracto seco magro.

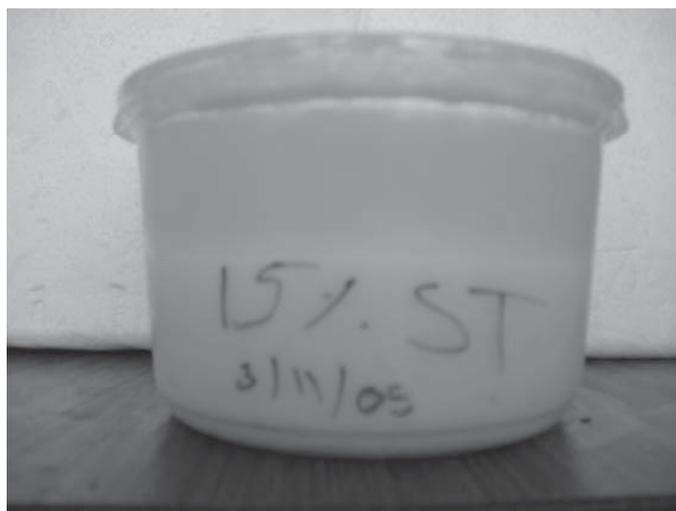


Figura 14. Yoghurt desgrasado estandarizado a 15% de extracto seco magro.

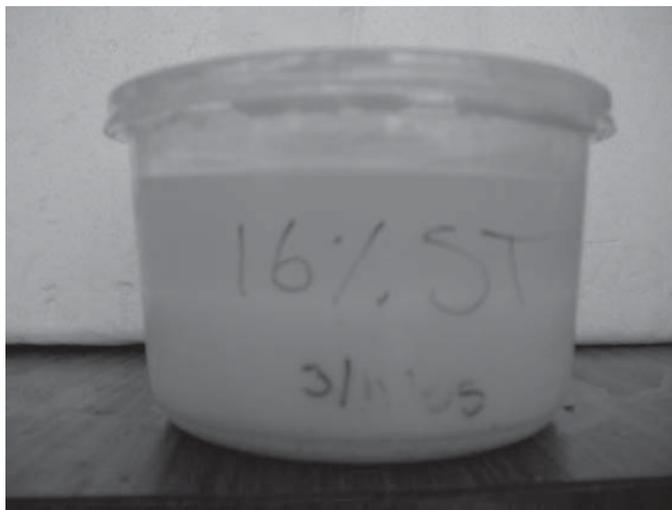


Figura 15. Yoghurt desgrasado estandarizado a 16% de extracto seco magro.

11.3 TERCER ESQUEMA DE ELABORACIÓN DE YOGHURT.

Observando los resultados obtenidos en los dos esquemas anteriores se tomó la decisión de incrementar la concentración de estabilizantes y además incluir gretina como agente gelificante, para asegurar la formación de un soporte que guarde uniformidad en el gel de caseína y a la vez estabilizando el sistema, para lo cual se propusieron cuatro distintas concentraciones de gretina (ver tablas 12, 13, 14 y 15).

Tabla 12. Formulación de yoghurt como control.

Componente	Porcentaje
Leche entera	99.225%
Gomas*	0.375%
Gretina	0.50%
TOTAL	100%

*Goma guar, goma de xantano y pectina.

Tabla 13. Formulación de yoghurt como muestra blanco.

Componente	SISTEMA 1	SISTEMA 2	SISTEMA 3	SISTEMA 4
Leche 0% grasa	99.225%	99.125%	99.025%	99.925%
Gomas*	0.375%	0.375%	0.375%	0.375%
Grenetina	0.40%	0.50%	0.60%	0.70%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

*Goma guar, goma de xantano y pectina.

Se realizaron las siguientes variantes en la formulación de cada uno de los sistemas anteriores:

Tabla 14. Formulación de yoghurt suplementado con inulina en concentración porcentual de 3g. (Sistema "A")

Componente	SISTEMA 1	SISTEMA 2	SISTEMA 3	SISTEMA 4
Leche 0% grasa	96.225%	96.125%	96.025%	95.925%
Inulina	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
Gomas*	0.375%	0.375%	0.375%	0.375%
Grenetina	0.40%	0.50%	0.60%	0.70%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Tabla 15. Formulación de yoghurt suplementado con inulina y mermelada de fresa en concentración porcentual de 3g y 15g respectivamente (sistema "B")

Componente	SISTEMA 1	SISTEMA 2	SISTEMA 3	SISTEMA 4
Leche 0% grasa	81.225%	96.125%	96.025%	95.925%
Mermelada	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%
Inulina	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
Gomas*	0.375%	0.375%	0.375%	0.375%
Grenetina	0.40%	0.50%	0.60%	0.70%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

11.3.1 ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO.

Todos los sistemas se sometieron al proceso que se manifiesta a continuación, en el cual se determinó el proceso de elaboración de yoghurt bajo las condiciones descritas en esta tesis.

Las gomas y la grenetina se mezclaron a temperatura ambiente con la leche, posteriormente fueron sometidas a tratamiento térmico (pasterización lenta 95 ° C/8 min.) y enfriado a 40 °C para su inoculación con el cultivo estérter a una concentración de 3.0% V/V e incubados en una incubadora tipo estufa marca BOEKEL modelo 133000 hasta llegar a una concentración de 65°D de ácido láctico para ser enfriados y mezclados con mermelada de fruta y mantenidos en refrigeración.

Con la estrategia planteada en este apartado se obtuvieron las características deseadas en el yoghurt y se comprobó que el uso de grenetina como agente estabilizante fue factible en todas las concentraciones propuestas en las tablas 12, 13 y 14, ya que se observó que después de terminada la fermentación, el yoghurt se mantuvo exento de sinéresis y con una consistencia y textura uniformes en todos los sistemas incluyendo los sistemas frutados (ver figuras 16 y 17).

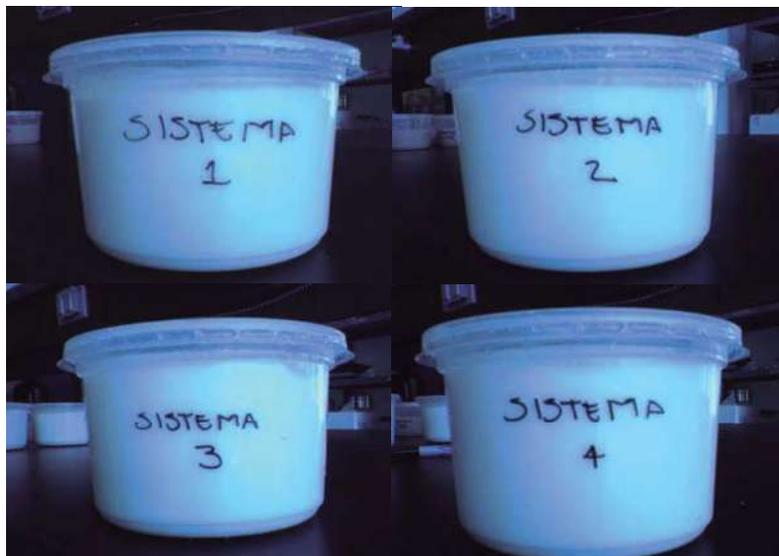


Figura 16. Yoghurts muestra blanco desarrollados con la formulación de la Tabla 12.

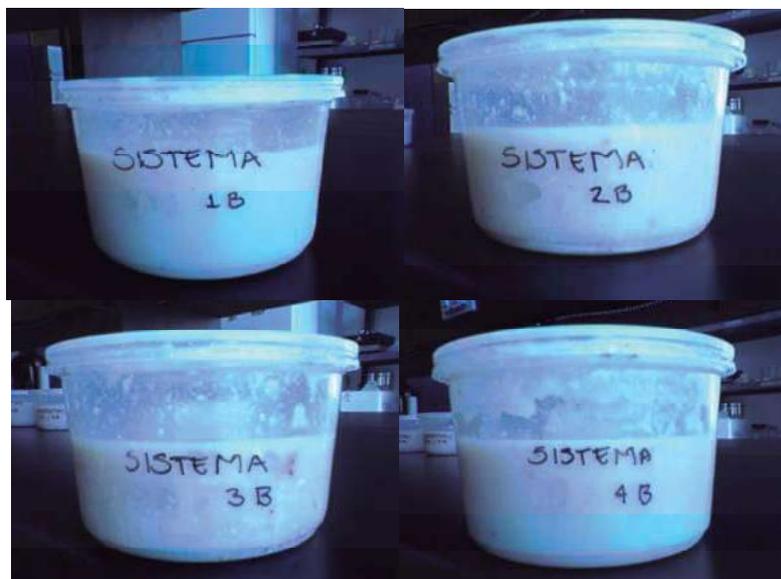


Figura 17 Yoghurts suplementados con inulina y frutados con mermelada de fresa con las formulaciones de la Tabla 13 y 14.

11.4 ANÁLISIS REOLÓGICO DE LOS YOGHURTS.

Todos los sistemas que se desarrollaron y que posteriormente se analizaron con el viscosímetro Brookfield se comportaron como fluidos no newtonianos t iempo independientes, y como se esperaba, la adición de inulina incrementó la viscosidad del yoghurt. La naturaleza pseudoplástica de todos lo s sistemas elaborados, se hizo patente en los reogramas obtenidos (figuras 18 y 19).

11.4.1 ANÁLISIS REOLÓGICO DE LOS SISTEMAS DESARROLLADOS.

En términos generales, el aumento de sólidos suspendidos en cada uno de los sistemas incrementó la viscosidad de los mismos.

La influencia de la gr enetina en el perfil reológico de los yoghurts quedó de manifiesto al crearse tres grupos en fun ción de su concentración (Figura 18). Por un lado, se detectó que a bajas concentraciones de grenetina (0.4%), los yoghurts en estudio se comportaron reológicamente igual que el yog hurt natural comercial usado como control, que en general, fueron quienes presentaron los valores más bajos de viscosidad. Así, vemos que se crea un segundo grupo al aumentar la concentración de grenetina a 0.5%; pero al aumentar la concentración de grenetina a 0.6% o más, se observa claramente la influencia de la inulina, independientemente de la concentración de grenetina dando los valores más altos de viscosidad.

11.4.2 ANÁLISIS REOLÓGICO DE ALGUNOS YOGHURTS COMERCIALES.

En la figura 19 se observa el resultado de los análisis reológicos realizados a los yoghurts comerciales, lo que destaca es que dos de los tres yoghurts con más alta viscosidad que se ubicaron en el grupo de los “yoghurts espesos” están adicionados de fibra “Danone activia con fibras papaya naranja” y “Danone vitalínea 0% grasa con livian V” lo relevante de esto es que hay una diferencia de casi 4500 mPa entre la viscosidad de ambos, el tercer yoghurt fue “Danone fruix con fresa” con viscosidad intermedia a los anteriores.

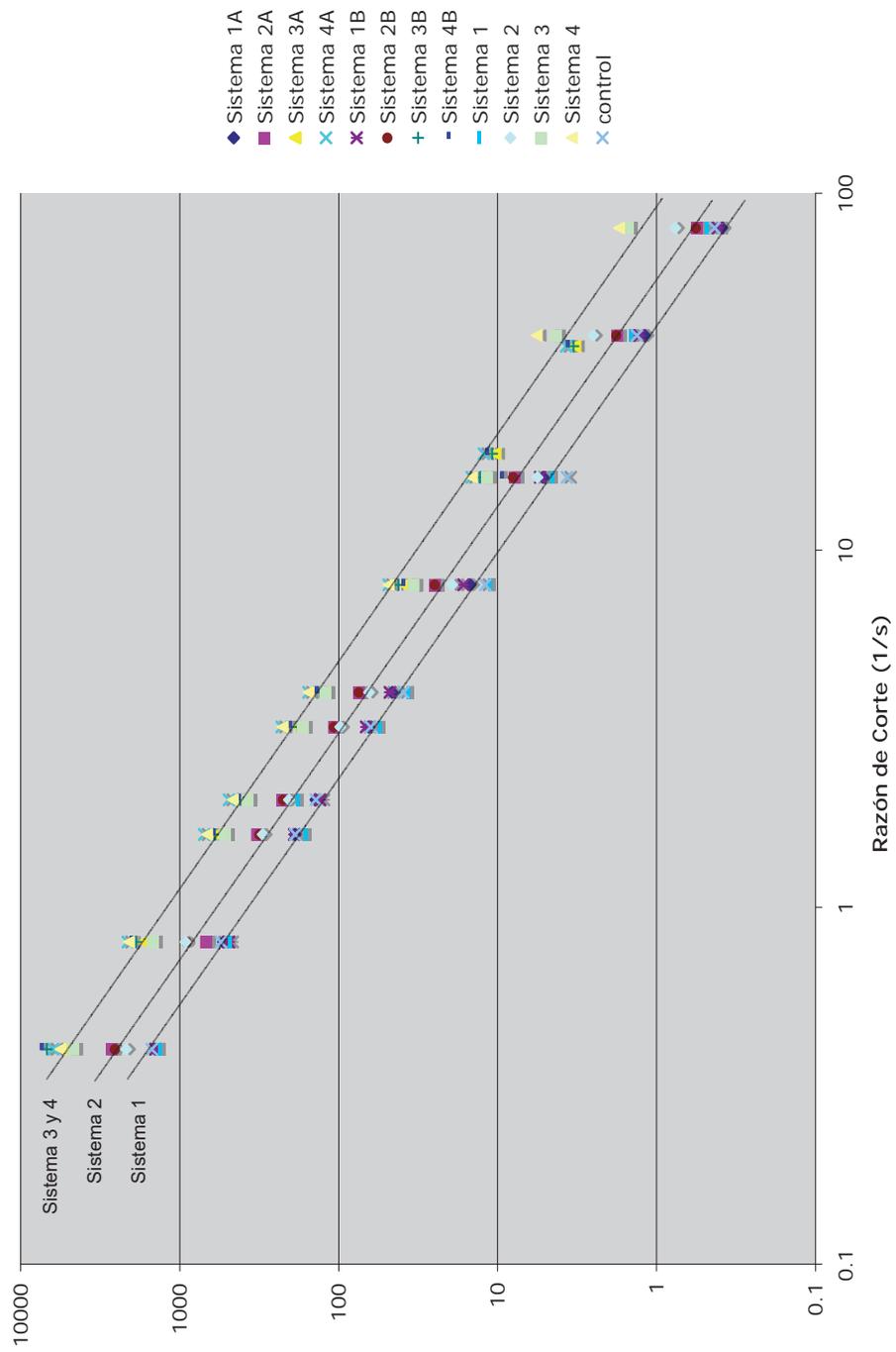


Figura 18. Influencia de la grenetina en el perfil de viscosidad de los yoghurts elaborados. Las escala es logarítmica en las variables dependientes e independientes. Las líneas trazadas describen la pendiente de los yoghurts en función de la concentración de grenetina

El resto de los yoghurts se pueden ubicar en el grupo de “yoghurts semiespesos” exceptuando a “Danone activia ciruela pasa” catalogado como yoghurt para beber.

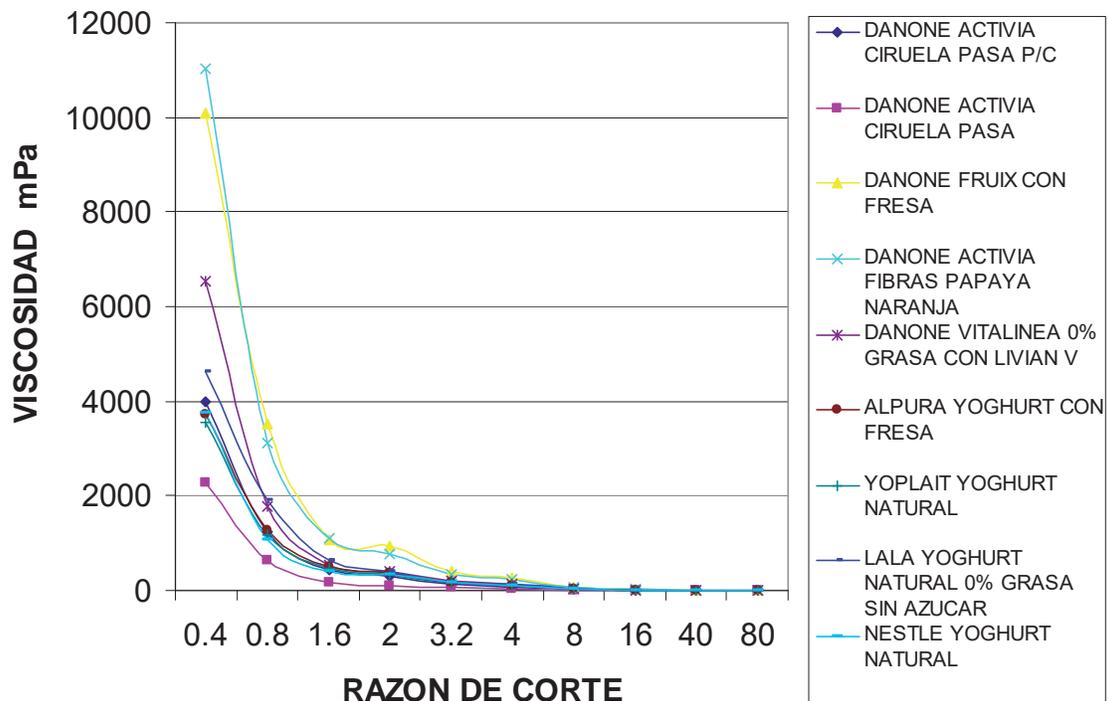


Figura 19. Perfil de viscosidad de algunos yoghurts comerciales.

12 DISCUSIÓN.

12.1 FORMULACIÓN.

En el primer desarrollo de la formula de yoghurt, la sinéresis se hizo presente por distintos factores: bajo contenido de grasa en la leche, uso de una cantidad insuficiente de estabilizante y sobre todo la ausencia de un agente coagulante como la grenetina. A pesar de que es tos resultados se c ontraponen a lo manifestado por Tamime y Robinson (1997), quienes dicen que aumentando la concentración de sólidos suspendidos (leche descremada en polvo) ayuda a aumentar la estabilidad del gel, sin embargo esto no sucedió. El cuerpo arenoso obtenido después del rompimiento del gel en el segundo esquema de elabo ración, es debido posiblemente al uso de un cultivo defectuoso así como una mala disolución de leche descremada en polvo favoreciendo el autoencapsulamiento, que cuando la caseína de la leche llega a su punto isoeléctrico estas partículas mal disueltas se perciben al tacto y a la vista como pequeños cuerpos sólidos.

12.2 ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO.

En general cada proceso difiere de otros aún tratándose de la elaboración de un mismo producto; esta diferencia radica entre muchos factores como la materia prima empleada; para este proceso es importante mencionar que la leche es un factor sujeto a cambios frecuentes en su composición ya sea ca mbios originados por el medio ambiente o simplemente cambios por la manipulación humana, tr atándose de cualquiera de las situaciones anteriores cuando se intenta ejecutar un proceso para la

elaboración de algún producto lácteo; es importante estudiar previamente los factores que pueden intervenir en su manufactura como la región donde se produce la leche, el ganado productor, las características de la leche en forma natural y en su forma modificada así como de los aditivos que se van a emplear para sustituir los componentes que se le han despojado.

12.3 ANÁLISIS REOLÓGICO.

No todos los sistemas obedecieron la lógica que se manifiesta por el aumento de sólidos en el yoghurt esperando que los yoghurts frutados fuesen, en su totalidad, los más viscosos, posiblemente esta diferencia radica en la sensibilidad del viscosímetro empleado para la medición o, de lo contrario, la cohesión que pueda generar la pectina de la mermelada, llegase a ejercer cuando es mezclada con el yoghurt, ya que es disminuida debido a que el poder de gelatinización es aminorado en pH ácidos; así como de la interferencia que pueda causar la fruta troceada con los espines del viscosímetro impidiendo medir con precisión.

12.4 COMPARACIÓN DE LAS VISCOSIDADES DE LOS SISTEMAS DESARROLLADOS Y LOS YOGHURTS COMERCIALES.

Esta comparación es de alta utilidad debido a que nos permite visualizar de forma directa la ubicación de nuestros sistemas en un rango de viscosidad donde se encuentran los yoghurts que podemos encontrar en el mercado (figura 20).

Realizando una interpolación entre las figuras 18 y 19 se visualiza claramente que los yoghurts elaborados objeto de esta tesis se encuentran en un estado viscoso

equiparado con los yoghurts comerciales, lo cual nos permite decir que los sistemas 4A, 4B y 3B se pueden catalogar como “yoghurts espesos”; los sistemas 4, 3 y 3A como yoghurts semiespesos y los sistemas 1, 2, 1A, 2A, 1B y 2B como yoghurts para beber.

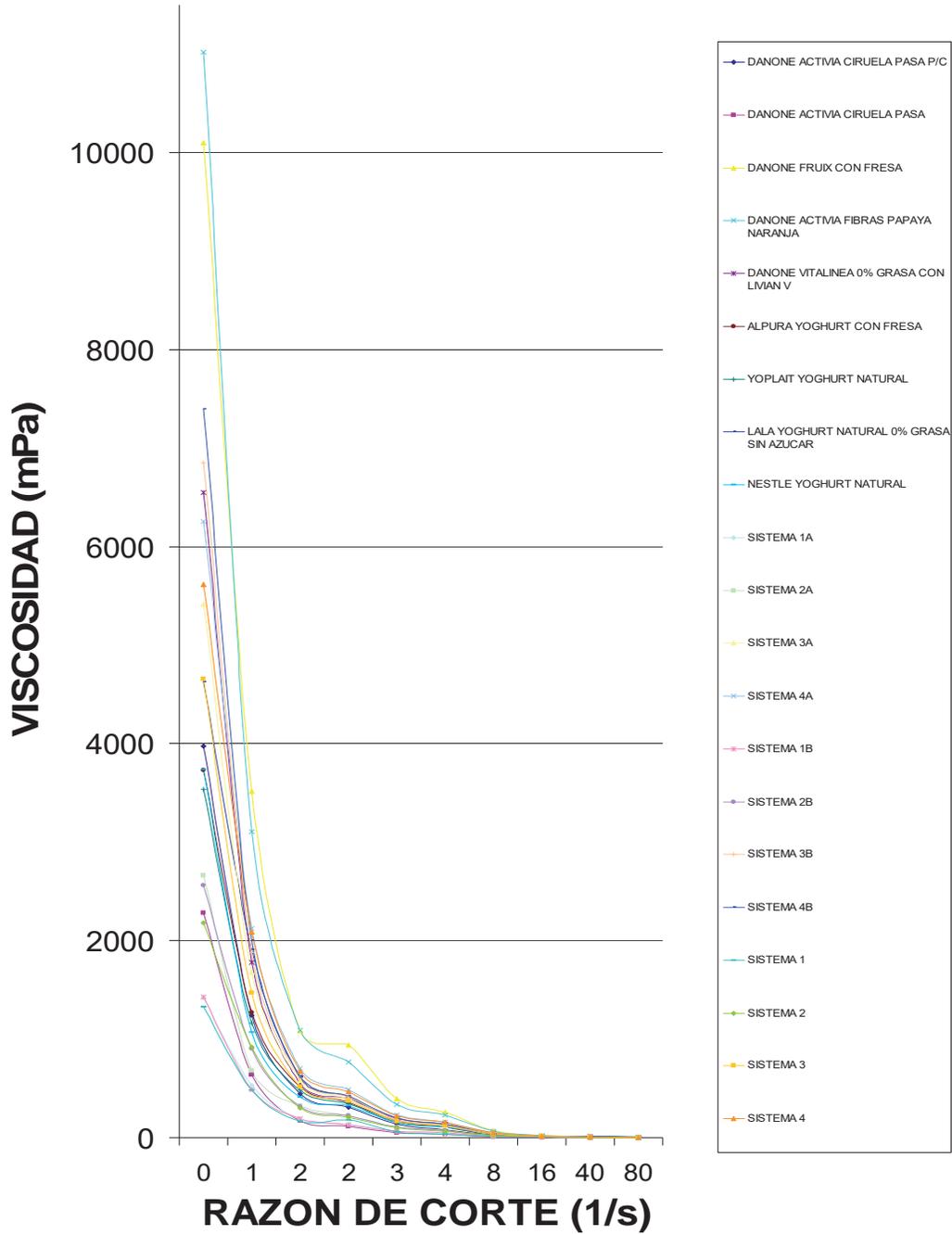


Figura 20. Comparación de los perfiles de viscosidad de los sistemas desarrollados y yoghurts comerciales.

13 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

En el análisis estadístico de diferencias significativas a 0.5 rpm. sistema Vs. sistema, se observó que la formación de siete grupos (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) donde el grupo 1 está integrado por los sistemas 1, 1A, 1B y el control; el grupo 2 está compuesto por los sistemas 2, 2A y 2B y los grupos 3, 4, 5, 6 y 7 formados por los sistemas 3, 3B, 4A y 4B respectivamente (ver figura 21). Claramente se observa que los sistemas de la serie B (frutados y con inulina) son los que tienen mayor viscosidad que el resto de los sistemas comparándolos de acuerdo a la concentración de gredina; el análisis estadístico a esta velocidad mantiene la tendencia que se debe esperar de la viscosidad por la concentración de sólidos en cada uno de los sistemas.

En el análisis de diferencia estadística sistema Vs. sistema a 4 rpm., se observó el ordenamiento de cinco grupos (1, 2, 3, 4 y 5). Grupo 1: formado por los sistemas 1, 1B, 1A y el control; grupo 2: formado por los sistemas 2, 2A y 2B; grupo 3: formado por los sistemas 3, 3A y 3B; grupo 4: formado únicamente por el sistema 4B y finalmente el grupo 5: formado por los sistemas 4 y 4A (ver figura 22).

Siendo esta una velocidad relativamente baja, inconvenientemente se observa que los sistemas 1B, 2B, 3B y 4B analizados a 4 rpm su viscosidad es menor que los sistemas 1A, 2A, 3A y 4A, pero sigue siendo mayor que los sistemas 1, 2, 3, 4 y el control, cuando lo esperado sería que la viscosidad de estos sistemas debiese ser de mayor que la del resto de los sistemas debido a su mayor contenido en sólidos;

Para 100rpm, el análisis estadístico de diferencias significativas descargo 7 grupos homogéneos donde el grupo 1 es formado por el sistema 1 y el control; el grupo

2 es formado por los sistemas 1A, 1B y 2; el grupo 3 es integrado por los sistemas 2A y 2B; los grupos 4 y 5 se integran por los sistemas 3 y 4 respectivamente; el grupo 6 es formado por los sistemas 3A y 3B y el grupo 7 es formado por los sistemas 4A y 4B. A estas velocidades nuevamente se ha ce patente el incremento de la viscosidad en función de la concentración de sólidos en el yoghurt, aunque se observa una diferencia en los sistemas 3A y 4A con los sistemas 3B y 4b en donde el primer par de sistemas son ligeramente más viscosos que este último par, esta diferencia radica, posiblemente, por la alta velocidad con que fue realizado el estudio reológico; sin embargo, dada la tendencia cinética de esta clase de fluidos, la diferencia numérica tiende a ser insignificante, en tanto que la diferencia estadística es significativa de acuerdo al análisis realizado.

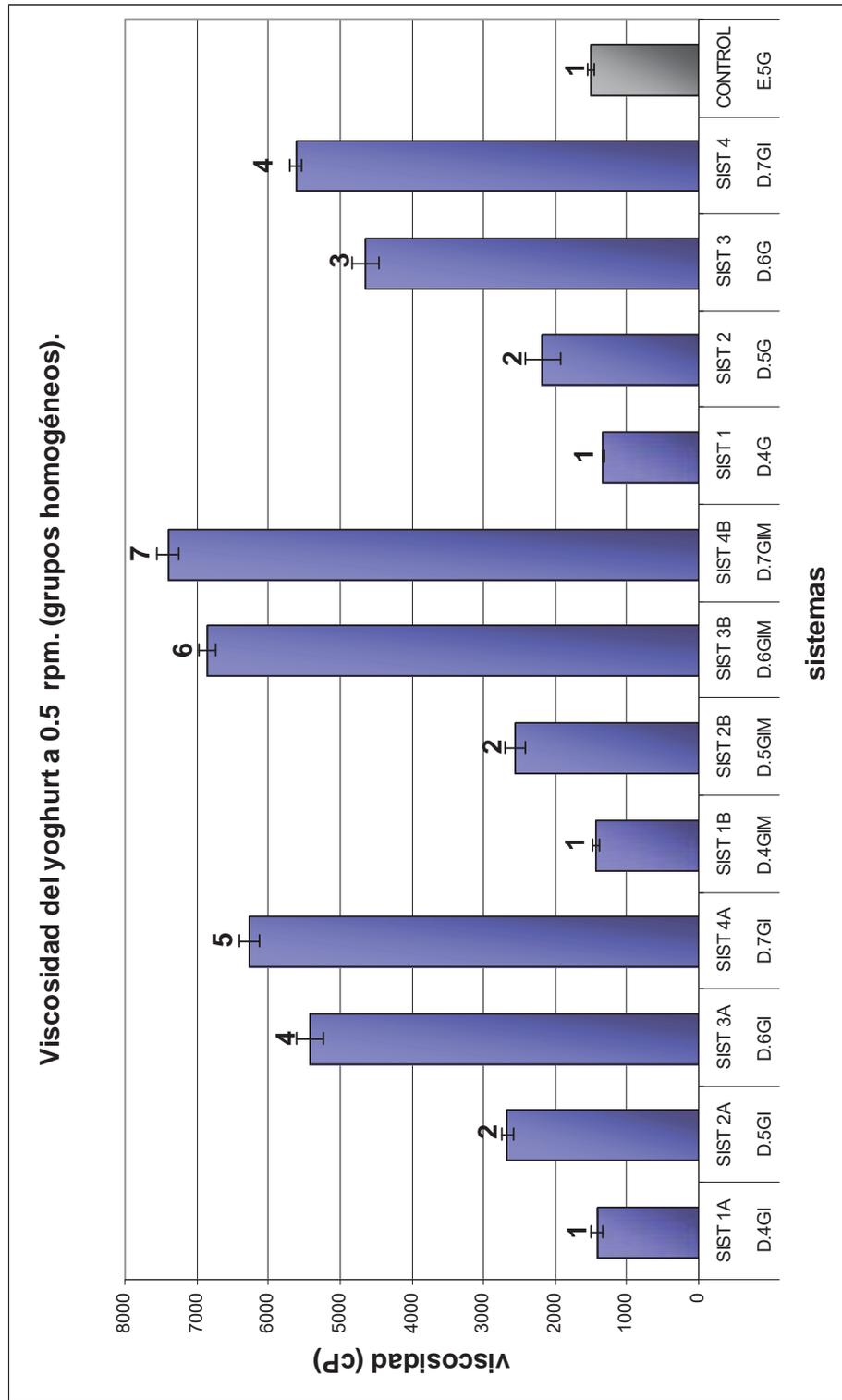


Figura 21. Viscosidad del yoghurt a 0.5 rpm. (Grupos homogéneos).

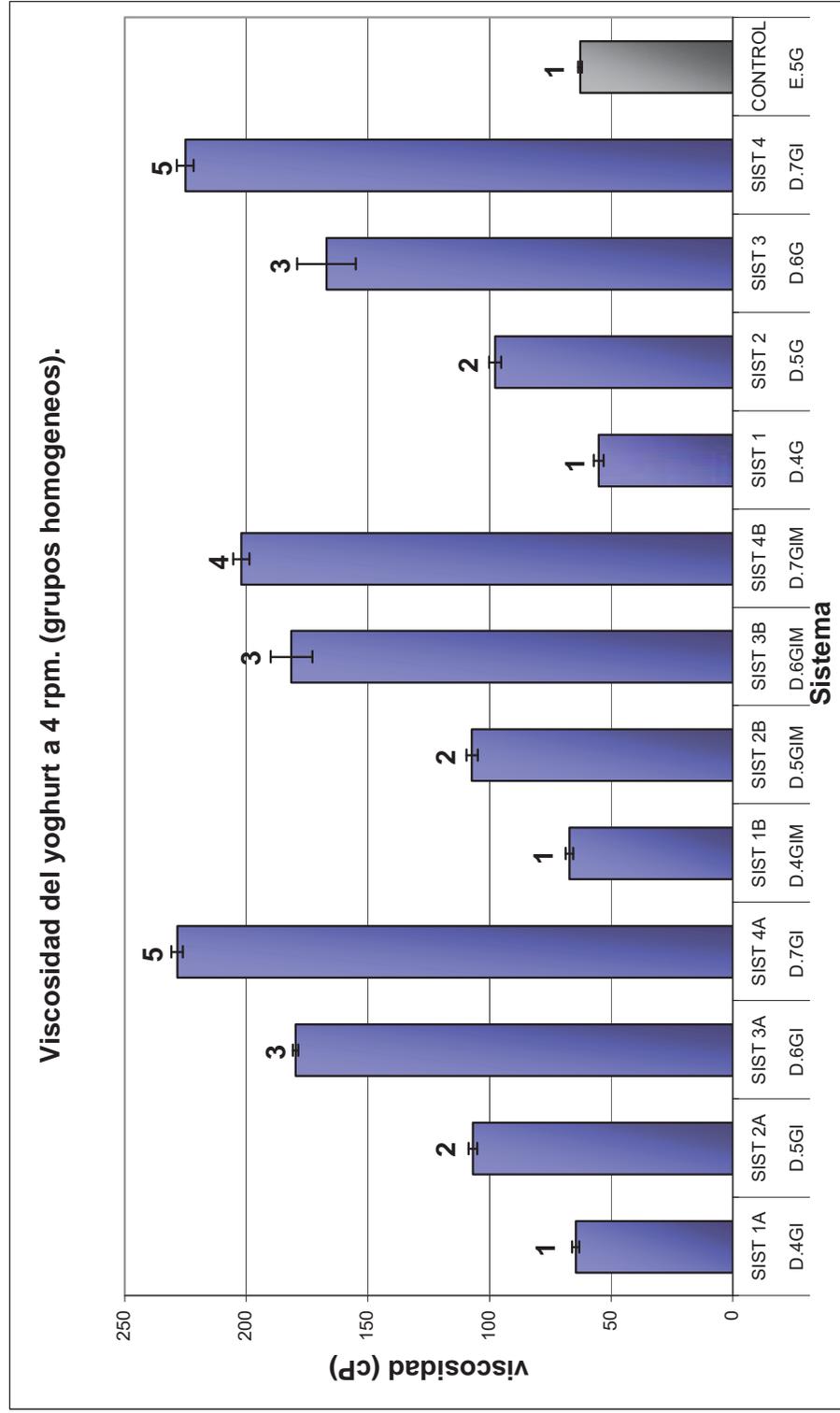


Figura 22. Viscosidad del yoghurt a 4 rpm. (grupos homogéneos).

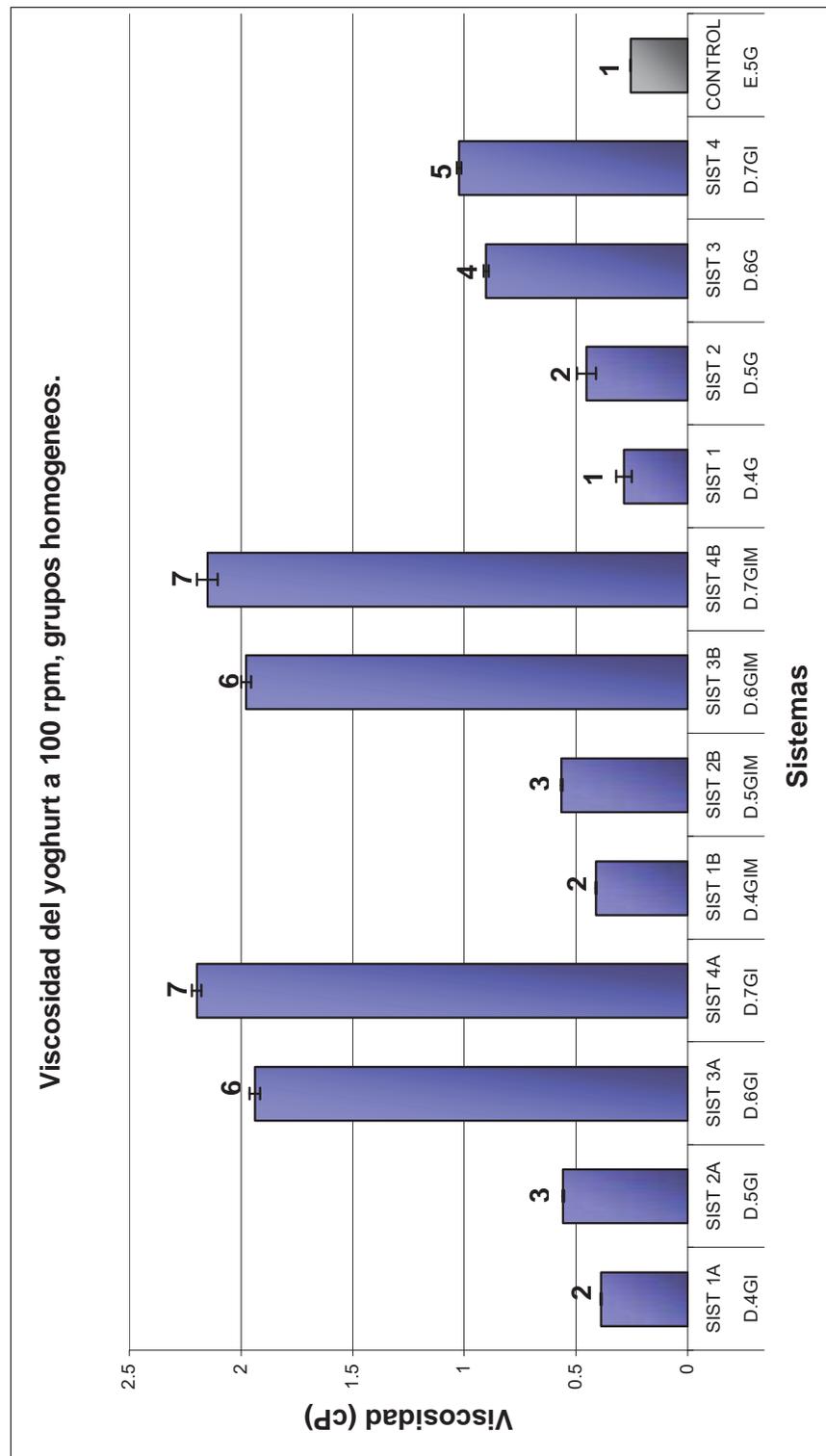


Figura 23. Viscosidad del yoghurt a 100 rpm. (Grupos homogéneos).

14 CONCLUSIONES.

1.- Se obtuvo una formulación para la elaboración de yoghurt 0% grasa suplementado con inulina, así como las condiciones de elaboración.

3.- El mezclado y la homogenización de los aditivos en la leche son pasos de suma importancia en la elaboración de yoghurt, ya que sin estos la adición de polvos se convierte en un problema reflejado en la textura y viscosidad del producto.

4.- La grenetina es esencial en la formulación y desarrollo de yoghurts en general al formar un gel de caseína estable.

5.- La viabilidad del cultivo maestro es importante, porque con el paso del tiempo las condiciones de almacenamiento, en específico el pH, tiende a deteriorar las bacterias lácticas encargadas de ésta fermentación.

6.- Los reogramas obtenidos expresan evidencia de que cuando se adiciona inulina, en la formulación de yoghurt, tiene la capacidad de incrementar la viscosidad en el producto final.

7.- La variedad y cantidad de estabilizantes empleados en el yoghurt es un punto que se debe asistir con gran importancia ya que de ello depende la apariencia y la vida de anaquel del yoghurt.

15 BIBLIOGRAFIA.

- Brookfield dial reading viscometer.(1995). Operating instructions. Appendix “c” variables in viscosity measurements, p 21. BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES, INC.
- Código Alimentario. (2003). Norma del Codex Alimentarius para leches fermentadas sección 2.1 “leche fermentada”
- Danone vitapole. (2003). The intestinal microflora, understanding the symbiosis. Chapter II effects of the environment on the microflora. Ed. John Libbey Eurotext. pp.17-18
- De Vrese M, Stegelmann A, Richter B, Fenselau S, Laue C, Schrezenmeir J. (2001). Probiotics— compensation for lactase insufficiency. *Am J Clin Nutr*;73:421S–9S.
- Dunne C, Murphy L, Flynn S, O’Mahony L, O’Halloran S, Feeney M, Morrissey D, Thornton G, Fitzgerald G, Daly C *et al.*: (1999). Probiotics: from myth to reality. Demonstration of functionality in animal models of disease and in human clinical trials. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 76:279-292.
- Guerrero Medina, Pedro Javier. (2000). I seminario internacional sobre tecnología y producción de yoghurt. Pág. 39. Mexico, D.F.
- Marteau P.R., de Vrese M, Cellier C.J. and Schrezenmeir J. (February 2001).Protection from gastrointestinal diseases with the use of probiotics *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 73, No. 2, 430S-436s,

- Meydani-Simin Nikbin, Woel-Kyu Ha. 2000. American Journal of Clinical Nutrition, Vol. 71, No. 4, 861-872. U.S.A.
- Morales de León, Josefina. (2000). I seminario internacional sobre tecnología y producción de yoghurt, pág. 1-18. México, D.F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-185-SSA1-2002. (2002). Productos y servicios. Mantequilla, cremas, producto lácteo condensado azucarado, productos lácteos fermentados y acidificados, dulces a base de leche. <http://www.salud.gob.mx/>
- Pereg D, Kimhi O, Tirosh A, Orr N, Kayouf R, Lishner M. (2005). The effect of fermented yoghurt on the prevention of diarrhea in a healthy adult population. *Am J Infect Control*.;33(2):122-5..
- Roberfroid MB. (2002). Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. *Br J Nutr*, 87 Suppl 2:S139-143.
- Rowland Ian and Mollett Beat. (2002). Functional foods: at the frontier between food and pharma. Editorial overview p.484
- Sánchez Villarreal, José G. (2000). I seminario internacional sobre tecnología y producción de yoghurt. Pág. 92. Mexico, D.F.
- Schiffrin EJ, Rochat F, Link-Amster H, Aeschlimann JM, Donnet-Hughes A. (1995). Immunomodulation of human blood cells following the ingestion of lactic acid bacteria. *J Dairy Sci*, 78:491-497.

- Schiffrin EJ, Brassart D, Servin AL, Rochat F, Donnet-Hughes A. (1997). Immune modulation of blood leukocytes in humans by lactic acid bacteria: criteria for strain selection. *Am J Clin Nutr*; 66(suppl): 515S–20S
- Saavedra JM. 1995. Microbes to fight microbes: a not so novel approach to controlling diarrheal disease [editorial; comment] . *Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition*; 21: 125-129.
- Tamime y Robinson, (1997). Yoghurt ciencia y tecnología. ED. Pag. 8,289-291.
- Tetra Pack, 2000. Dairy processing hand book Tetra Pack. Chapter 11: cultured milk products. Swenden.
- Tzintzun Rascón, Rafael. (2002). Notas para el Curso Taller “Elaboración de quesos naturales y yoghurt” Posta zootécnica Km. 9.5 carretera Morelia-Zinapécuaro.
- Tzintzun Rascón, Rafael. (2003). Notas para el diplomado en Lactología “Tecnología para el valor agregado de la cadena agroalimentaria de la leche” modulo “Cultivos Lácticos y Yoghurt”. Posta zootécnica Km. 9.5 carretera Morelia-Zinapécuaro.