



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLÁN

**Desarrollo de una formulación para un
snack nutritivo a base de yogur**

Tesis

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A N:

Martínez Cortés Alejandra Chabeli

Romo Herrera Mariana

Asesora: Dra. Sara Esther Valdés Martínez

Coasesora: Dra. María Guadalupe López Palacios

CUAUTITLÁN IZCALL, ESTADO DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Desarrollo de una formulación para un snack nutritivo a base de yogur.

Que presenta la pasante: Alejandra Chabell Martínez Cortés
Con número de cuenta: 308094895 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Octubre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Sara Esther Valdés Martínez	
VOCAL	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	I.A. Virginia López García	
2do. SUPLENTE	I.A. Eva Teresa González Barragán	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Desarrollo de una formulación para un snack nutritivo a base de yogur.

Que presenta la pasante: Mariana Romo Herrera

Con número de cuenta: 411021067 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Octubre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Sara Esther Valdés Martínez	
VOCAL	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
SECRETARIO	M. en C. Julieta González Sánchez	
1er. SUPLENTE	I.A. Virginia López García	
2do. SUPLENTE	I.A. Eva Teresa González Barragán	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/

Dedicatoria

A mis padres Javier y Carmen.

Dedico esta tesis a mis padres Javier y Carmen quienes me apoyan en todo, y han dejado que abra mis alas para lograr cumplir con mis objetivos gracias por estar aquí, son el pilar de los triunfos, y este es uno de ellos.

A mis hermanos Rebeca y Javi gracias por simple hecho de estar ahí dejándome se su ejemplo a seguir, los amo.

A mis amigos de la generación 35.

A mis asesoras Sara y Guadalupe

Quienes siempre nos alentaron a dar lo mejor de nosotras en cada momento, que nos mostraron el camino para no estancarnos.

Al ingeniero Fernando Sotres

Por sus múltiples enseñanzas y apoyo durante la elaboración de esta tesis, por su constancia, inspirarnos a ver más allá y sobre todo por esa maravillosa composición de Charles Chaplin que nos hacia escuchar.

A mi padre Abraham Piña.

Por los ejemplos de disciplina y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su cariño.

A mi madre María Eugenia.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis Hermanos *A mis hermanas Jessica y Jesselyn por ser un pilar importante y de las cuales aprendí levantar de mis fracasos y compartir grandes alegrías; a mi hermano Abraham, por mostrarme que no están tarde, tan temprano para madurar y sobre todo por regalarme el placer de conocer a Sofia mi sobrina adorada, Enrique siendo un ejemplo de*

amor a su familia, Cintia por ser una inspiración de superación y Cristian tu sabes lo que fuiste.

¡Gracias a ustedes!

AGRADECIMIENTO

A la universidad que nos dio la oportunidad de conocer esta excelente licenciatura, que nos abrió las puertas a un mundo de oportunidades que son incomparables, que nos formó con logros y obstáculos para crecer como personas.

Agradecemos la ayuda incondicional que nos brindaron nuestros profesores, compañeros y a la universidad en general.

A nuestras asesoras Dra. Sara, Dra. Guadalupe por regalarnos sabios consejos, por brindarnos las instalaciones para desarrollar este proyecto.

Al Ing. Sotres por sus enseñanzas a cada momento, por constancia.

A nuestros padres por haberme forjado como las personas que somos en la actualidad; muchos de los logros se los debemos a ustedes, en los que incluyo este proyecto. Nos formaron con reglas y ciertas libertades, pero al final de cuentas, nos motivaron con constancia para alcanzar mis sueños, por enseñarnos a fijarnos metas y nunca permitimos renunciar.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES.....	3
1.1 Leche.....	3
1.1.1 Calidad de la leche	5
1.1.2 Adulteraciones y contaminantes en la leche	7
1.1.3 Métodos de conservación de la leche	8
1.2 Leche en polvo.....	9
1.2 Yogur	10
1.2.1 Composición del yogur	12
1.2.2 La microbiología y la bioquímica de la fermentación del yogur	14
1.2.3 Proceso de elaboración de Yogur	16
1.2.3 Parámetros de calidad del yogur	20
1.2.4 Defectos en el Yogur	21
1.2.5 Propiedades del yogur	22
1.3 Deshidratación en los alimentos	24
1.3.1 Liofilización.....	27
1.3.2 Características y estabilidad de los alimentos liofilizados.....	36
1.3.3 Envasado y almacenamiento de productos liofilizados	37
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA	38
2.1 Objetivos	38

2.2. Descripción del Cuadro Metodológico	39
2.2.1 Estudio de mercado.....	39
2.2.2. Concentrado de fresa	41
2.3.3 Curvas de secado.....	46
2.3.4. Liofilización de yogur griego con fresa.....	47
2.3.5 Evaluación fisicoquímica.....	49
2.3.6 Calidad microbiológica.....	50
2.3.7 Viabilidad de microorganismos presentes	51
2.3.7 Evaluación sensorial.....	51
2.3.8 Análisis estadístico	53
CAPITULO 3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
3.1 Elaboración de yogur	54
3.1.1 Estudio de Mercado.....	54
3.1.2 Evaluación fisicoquímica de materia prima (leche líquida y en polvo).	57
3.1.3. Elaboración de yogur	59
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
CAPITULO 6. BIBIOGRAFIA.....	70

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas de la leche	3
Cuadro 2. Razas productoras de leche en México	4
Cuadro 3. Composición de la leche de vaca	5
Cuadro 4. Métodos de conservación de la leche	8
Cuadro 5. Composición de la leche	9
Cuadro 6. Concentración de algunos nutrientes mayoritarios de la leche y el yogur	13
Cuadro 7. Concentración de vitaminas de la leche y el yogur	14
Cuadro 8. Especificaciones microbiológicas	20
Cuadro 9. Defectos en la textura del yogur	21
Cuadro 10. Defectos en el sabor del yogur	22
Cuadro 11. Diferencias entre la deshidratación convencional y la liofilización.....	26
Cuadro 12. Formulaciones para elaboración de yogur	42
Cuadro 13. Pruebas empleadas para la caracterización de la materia prima	43
Cuadro 14. Condiciones de temperatura y tiempo de liofilización	47
Cuadro 15. Evaluación fisicoquímica	50
Cuadro 16. Técnicas aplicadas para el análisis microbiológico	50
Cuadro 17. Métodos aplicados para evaluar la viabilidad	51
Cuadro 18. Análisis químico proximal leche líquida.....	58
Cuadro 19. Análisis químico proximal leche en polvo	58
Cuadro 20. Análisis químico proximal yogur	60

Cuadro 21. Análisis químico proximal de las tres formulaciones liofilizadas	64
Cuadro 22. Resultados microbiológicos de producto terminado	65
Cuadro 23. Resultados de viabilidad de bacterias ácido lácticas	65
Cuadro 24. Evaluación sensorial	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasteurización y ultrapasteurización de la leche y su relación con la destrucción de los microorganismos y enzimas	9
Figura 2. Producción industrial de yogur	11
Figura 3. Proceso general de elaboración de yogur	17
Figura 4. Fases del agua pura	27
Figura 5. Comparación de curvas de congelación para agua pura y un alimento	30
Figura 6. Transferencia de calor y de masa en el secado por congelación	34
Figura 7. Encuesta de consumo de yogur	39
Figura 8. Cuadro metodológico.....	40
Figura 9. Diagrama de elaboración del concentrado de fresa	41
Figura 10. Diagrama de proceso de yogur	44
Figura 11. Plantilla de evaluación sensorial	45
Figura 12. Sistema de liofilización.....	46
Figura 13. Proceso de liofilización de yogur con fresa	48
Figura 14. Bolsas con sello a vacío	49
Figura 15. Plantilla de evaluación sensorial para niños	52

Figura 16. Resultados pregunta 1 encuesta de estudio de mercado.....	54
Figura 17. Resultados pregunta 2 encuesta de estudio de mercado.....	55
Figura 18. Resultados pregunta 3 encuesta de estudio de mercado.....	55
Figura 19. Resultados pregunta 4 encuesta de estudio de mercado.....	56
Figura 20. Resultados pregunta 5 encuesta de estudio de mercado.....	57
Figura 21. Monitoreo pH.....	59
Figura 22. Porcentaje de aceptación de las formulaciones.....	61
Figura 23. Condiciones de proceso de liofilización.....	62
Figura 24. Curvas de secado.....	63

INTRODUCCIÓN

El consumo calórico alimentario en los últimos años se ha incrementado, debido a una mayor ingesta de productos de origen animal (leche y carne), alimentos fritos y con alto contenido energético que ha generado este cambio¹.

En México, los productos lácteos como son el queso y el yogur ocupan los primeros lugares de comercialización. El mercado nacional de lácteos está distribuido principalmente en 5 empresas que representa el 75% de la producción. El yogur uno de los productos con mayor consumo se define, como un producto obtenido de la mezcla de leche entera, semidescremada, descremada o con leche descremada deshidratada, sometido a un proceso de pasteurización y coagulación por fermentación, mediante la inoculación con bacterias como el *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, teniendo como resultado la reducción del pH². La utilización de microorganismos como agentes de transformación es una práctica muy antigua, que permite la obtención de productos con excelentes características sensoriales y nutritivas³.

El yogur es uno de los alimentos industrializados que aporta beneficios a la población, son recomendables porque contienen ingredientes que ayudan a reconstruir la flora intestinal, además de ser fuentes de vitaminas y proteínas, y se puede encontrar en diferentes presentaciones: suave, firme y bebible, puede ser natural o saborizado, con mermelada de frutas principalmente (manzana, piña, fresa, durazno, nuez, coco)^{4,5}.

La liofilización como un proceso de conservación de alimentos, ha permitido alargar la vida de anaquel de los mismos⁶, la remoción de agua del producto se lleva a cabo por sublimación y desorción⁷. Esta técnica mantiene las características sensoriales y nutrimentales del alimento al evitar altas temperaturas, a pesar de que el proceso es caro, (se emplea para aquellos productos que requieren rehidratarse fácilmente)¹.

La mayoría de los alimentos se pueden liofilizar; sin embargo, es más fácil de aplicar a alimentos con más del 45 % de agua y de tamaño pequeño ya que los alimentos ricos en lípidos e hidratos de carbono no son muy recomendables debido a que ocurren reacciones

indeseables. Un alimento liofilizado correctamente y envasado, se conserva hasta 12 meses⁸.

En la actualidad la innovación y desarrollo de productos ha tenido un gran impacto, en los hábitos alimenticios de los consumidores, tanto en la presentación del producto, como en el método de conservación, por esta razón se consideró de interés desarrollar un producto alternativo, innovador, de fácil transporte, nutritivo y sabroso como lo es el snack liofilizado a base de yogur tipo griego con fresa, principalmente dirigido para niños en edad preescolar⁹.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1 Leche

La leche por ser uno de los alimentos más completos ha sido estudiada y definida de múltiples maneras ya sea basadas en su composición, su obtención o de acuerdo a las leyes aplicables, algunas de las principales definiciones dadas a este alimento se presentan a continuación¹⁰:

a) “La secreción natural de las glándulas mamarias de los mamíferos destinada como alimento para sus crías”. Entre las especies domésticas existen algunas especializadas en la producción de leche para consumo humano¹¹.

b) Físicoquímicamente, la leche es considerada como una emulsión natural perfecta, donde los glóbulos de grasa gracias a la presencia de sustancias en estado coloidal se hallan en suspensión en un medio salino de elevada concentración, por lo anterior, se distinguen tres sistemas:

- **Emulsión** de materia grasa bajo forma globular.
- **Solución** o fase hídrica, formada por el medio más voluminoso, continuo.
- **Suspensión** de caseína, ligada a sales minerales.

Las principales propiedades físicoquímicas de la leche se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades físicoquímicas de la leche¹².

Propiedad	Valor
Densidad 15 °C	1.030 - 1.034 g/ml
Calor Específico	0.93 (ca l/ kg °C)
Punto de Congelación	-0.55 °C
pH	6.5 - 6.6
Índice de refracción	1.35

Fuente: (D.R. Veissere, 1998)

Un alimento es la materia prima que utiliza el organismo para extraer nutrimentos y energía, ya sea de origen animal o vegetal; proporciona aquellas estructuras químicas (nutrimentos) que son necesarias para que un organismo vivo desarrolle todas sus actividades y funciones biológicas. De esta manera, tendrá la posibilidad de mantenerse dentro de un estado de salud conveniente¹³.

Los nutrimentos se clasifican según su composición química en orgánicos e inorgánicos. Entre los orgánicos, se incluyen los carbohidratos, las grasas, las proteínas y las vitaminas, los minerales conforman el grupo de los inorgánicos.

De todos los alimentos que consume el hombre, sólo la leche tiene como único objetivo el de servir de alimento como tal. La leche es un alimento casi completo, ya que sólo es deficiente en hierro, vitamina D y vitamina C. Su mayor aporte nutrimental es en energía, proteínas de fácil asimilación, grasa, calcio, fósforo y varias vitaminas que hacen de la leche el alimento básico del lactante y, en general, del niño en sus primeros cuatro años de vida, aunque también es muy importante en otras etapas de la vida. Su valor nutrimental, así como el económico, están directamente asociados con su contenido de sólidos, ya que el valor comercial se asigna por el contenido de proteínas y grasa¹³.

Cuadro 2. Razas productoras de leche en México.

Raza	Agua	Grasa	Proteínas	Lactosa	Cenizas
Holstein Friesian	88.1	3.4	3.1	4.6	0.71
Ayshire	87.3	3.9	3.4	4.4	0.73
Pardo Suizo	87.3	3.9	3.3	4.6	0.72
Guernsey	86.3	4.5	3.6	4.7	0.75
Jersey	85.6	5.1	3.7	4.7	0.74

Fuente: (DERGAL, 2006).

Hay factores que afectan la calidad de la leche tales como la raza, donde la composición de la leche varía ampliamente debido a diferencias genéticas de una misma especie. De

este modo, se obtienen leches con distintas propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutritivas que permiten la elaboración de diversos productos y para diferentes gustos. En el cuadro 2 se mencionan las razas productoras de leche que se utilizan más comúnmente en México¹¹.

La composición de la leche presentada en el Cuadro 3 corresponde a los rangos máximos y mínimos permitidos de cada grupo de nutrientes. En nuestro país, la leche pasteurizada entera contiene en promedio 3.2 % de grasa, 3.0 % de proteína y 4.7 % de lactosa. Es importante señalar que estos porcentajes promedio pueden variar dependiendo del tipo de leche, por ejemplo, en el caso de las leches parcialmente descremadas, semidescremadas y descremadas que tienen diferente contenido de grasa¹⁴.

Cuadro 3. Composición de la leche de vaca (g/100 ml).

Componente	Mínimo	Máximo
Agua	84.00	89.0
Sólidos totales (grasa y sólidos no grasos)	11.00	15.00
Grasa	3.40	5.10
Proteína	3.10	3.70
Lactosa	4.40	4.70
Cenizas	0.71	0.75

Fuente: (DERGAL, 2006).

1.1.1 Calidad de la leche

La calidad higiénica de leche cruda depende del estado sanitario y de la limpieza de las vacas, del sistema de ordeño y de las condiciones higiénicas del equipo de ordeño.

Debido a su riqueza en nutrientes, la leche es un medio de cultivo ideal para muchos microorganismos, algunos de ellos patógenos y otros que afectan las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la leche¹¹.

Los factores intrínsecos, ajenos a la vaca; como el medio ambiente, el manejo y el transporte de la leche son fuentes de contaminación de la leche si no se controlan adecuadamente.

La contaminación microbiana de la leche durante su obtención en la explotación ganadera puede deberse a muchos microorganismos distintos. Existen diversos tratamientos que son suficientes para destruir las bacterias patógenas no esporuladas más termorresistentes que pueden encontrarse en la leche: *Mycobacterium tuberculosis* y *Coxiella burneiti*.

Un establo limpio y bien manejado, el empleo de vacas sanas y las buenas prácticas de ordeño tienen un impacto positivo sobre la calidad microbiológica de la leche. Por el contrario, el estiércol, lodo y una elevada incidencia de mastitis afectan los parámetros microbiológicos de la leche¹¹.

Existen normas a nivel nacional que señalan que la cuenta máxima de bacterias mesofílicas aerobias en leche apta para consumo humano debe ser de 1,200,000 unidades formadoras de colonias (UFC/ml)¹³.

En ellas se señala que mientras mayor sea el contenido de bacterias mesofílicas, puede ser mayor el riesgo de contaminación por patógenos, así como el crecimiento de los mismos en productos terminados.

Las plantas procesadoras también establecen sus propias especificaciones de calidad microbiológica de la leche cruda, y son motivo de premio y/o castigo al productor; como ejemplo podemos citar las siguientes:

- Unidades formadoras de colonias: máximo 50,000 UFC/ml.
- Cuenta de células somáticas: máximo 500,000 CS/ml.
- Coliformes: máximo 300 UFC/ml
- Cuenta de colonias en leche pasteurizada en el laboratorio (CLP).

Algunas de las medidas de control para prevenir la contaminación de la leche cruda más comúnmente usadas son¹¹:

- Estado de salud de los animales.

- Buenas prácticas de ordeño.
- Limpieza y desinfección del equipo y superficies que están en contacto con la leche.
- Limpieza y desinfección de las instalaciones.
- Higiene del personal.
- Refrigeración inmediata de la leche a una temperatura menor a 6 °C.

Desde luego, toda la leche cruda debe pasteurizarse para destruir los microorganismos presentes en la leche y poder comercializarse¹¹.

1.1.2 Adulteraciones y contaminantes en la leche

Por un manejo inadecuado o intencional, ésta puede convertirse en un producto no apto para consumo humano o que engañe al consumidor, al no ser 100 % leche. La leche puede adulterarse de forma accidental o intencional, las principales alteraciones se mencionan a continuación¹¹:

1. Adición de agua, esta puede ser consecuencia de un accidente, o de prácticas incorrectas en la granja o industria. Algunos ganaderos añaden agua a la leche para aumentar su volumen. La sal o el azúcar se utilizan para enmascarar la adición de agua por que elevan el contenido en sólidos y hacen descender el punto crioscópico.
2. Distintos compuestos químicos pueden llegar accidentalmente a la leche. Entre las posibles adulteraciones se incluyen los detergentes y desinfectantes utilizados en la limpieza de las instalaciones y del equipo de ordeño, así como preparaciones veterinarias que se dejan descuidadamente en proximidades de los tanques de leche o incluso en su interior.
3. Otros compuestos químicos se pueden añadir intencionalmente, por ejemplo, para neutralizar la acidez desarrollada se adicionan compuestos básicos, como la cal. Algunos conservantes, como el agua oxigenada y la formalina, se añaden para enmascarar su mala calidad higiénica.

1.1.3 Métodos de conservación de la leche

La conservación de los alimentos consiste en retardar y/o bloquear la acción de agentes como microorganismos y enzimas que puedan alterar sus características originales. Los agentes pueden ser ajenos o formar parte de su composición.

Los métodos de conservación de la leche fluida más utilizados actualmente son: pasteurización, ultra pasteurización y esterilización; (sus condiciones se presentan en el Cuadro 4).

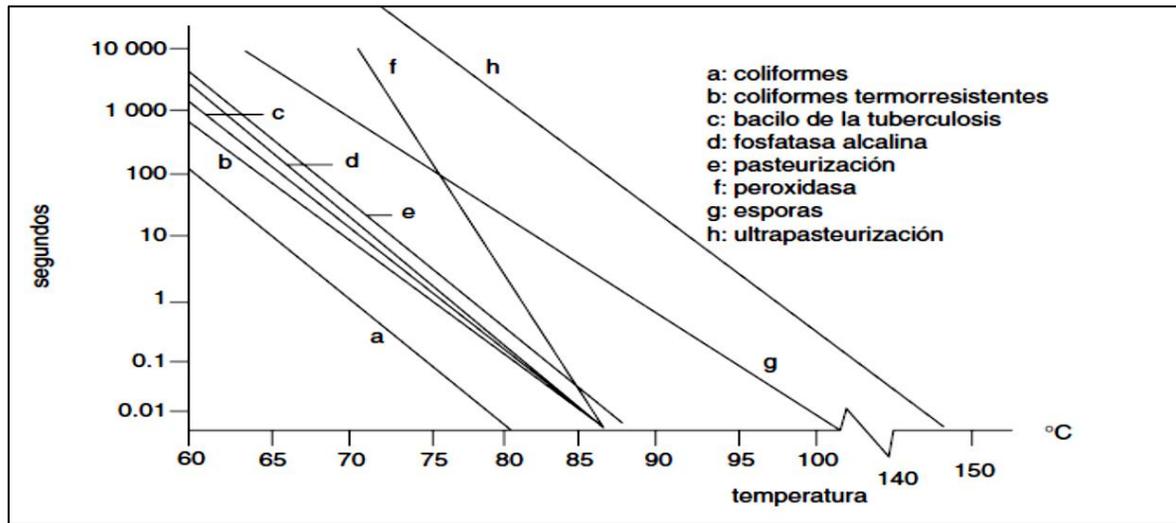
Cuadro 4. Métodos de conservación de la leche¹⁵.

Método	Tiempo	Temperatura
Pasteurización lenta (LTLT – Low Temperature Long Time)	30 minutos	63 °C
Pasteurización rápida (HTLT – High Temperature Low Time)	15 segundos	71.7 °C
Ultra pasteurización UHT (Ultra High Temperatures)	1 - 5 segundos	145°-155 °C
Esterilización	20 minutos	121 °C

Fuente: <https://cienciaycampo.wordpress.com/2011/03/13/pasterizacion-esterilizacion-y-uht/>

Para el presente trabajo se utilizó leche ultra pasteurizada entre algunas de las ventajas más representativas se encuentra almacenamiento sin refrigeración por periodos de hasta varios meses, siempre y cuando no se abra el envase, así como a destrucción de los microorganismos y enzima, como se muestra en la figura 1.

Figura 1: Pasteurización y Ultrapasteurización de la leche y su relación con la destrucción de los microorganismos y enzimas



1.2 Leche en polvo

La leche en polvo es leche deshidratada que se obtiene mediante secado por aspersión, después de eliminar parcialmente el agua por evaporación; el producto resultante forma grumos difíciles de desbaratar y se vuelve poco soluble por efecto de los diversos daños térmicos en las proteínas y la lactosa (p.ej. desnaturalización, reacción de Maillard, etcétera). Para remediar la falta de solubilidad, se procede a la aglomeración del producto seco, aplicando vapor, con lo cual se producen partículas más porosas que fácilmente se hidratan; en esta operación, la lactosa, que se encuentra en estado amorfo, se humidifica y recristaliza en formas más solubles. Su estabilidad a la oxidación disminuye por la eliminación de agua (<5%), por lo que algunas legislaciones permiten el uso de antioxidantes; para evitar su deterioro se recomienda mantenerla a temperaturas moderadas y protegida de la luz solar.

La composición de la leche se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Composición de la leche en polvo

PRODUCTO	AGUA	PROTEÍNAS	GRASA	CARBOHIDRATOS	CENIZAS
Leche en polvo	3.0 %	24.6 %	26.5 %	38.8 %	7.1 %

La leche usada para yogur se tiene que estandarizar a un nivel menor de grasa y mayores contenidos de lactosa, proteínas, minerales y vitaminas; para eso se pueden añadir sólidos lácteos (leche en polvo, suero de leche, etcétera)¹⁴.

1.2 Yogur

Entre las leches fermentadas el producto más popular es el yogur, se obtiene de la fermentación de leche pasteurizada o no, entera o parcialmente descremada, por medio de la acción de microorganismos *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subespecies *bulgaricus*, teniendo como resultado la reducción del pH. Dichos microorganismos deben mantenerse viables, activos y en una cantidad mínima de 10^7 UFC/g, hasta la fecha de caducidad del producto¹⁶.

El proceso de fermentación se puede describir como la transformación de lactosa parcialmente en ácido láctico o, en ciertas leches, en alcohol etílico, las proteínas sufren al inicio una ligera hidrólisis generando péptidos de menor peso molecular, lo que mejora su digestibilidad.

El término “fermentadas” describe el proceso de inoculación o siembra de la leche con microorganismos que transforman la lactosa en ácido láctico. A lo largo del proceso se originan además dióxido de carbono, ácido acético, diacetilo, acetaldehído, y muchos otros compuestos que determinan el sabor, textura y aroma característicos del producto⁵.

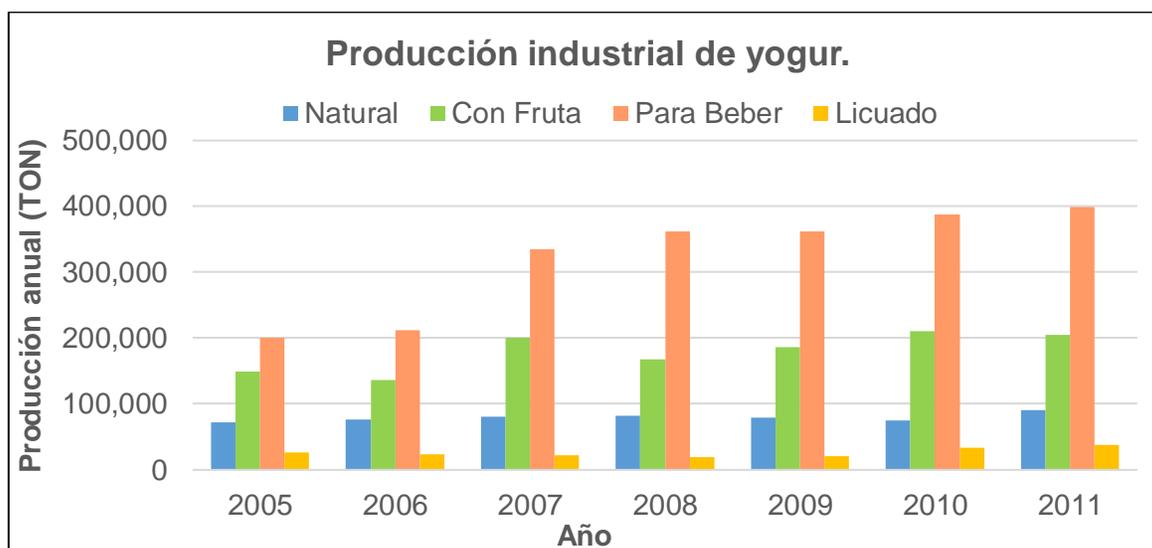
En México, el yogur ha tenido un gran auge ya que entre 2005 y 2011, la producción industrial de leche y derivados lácteos registra un comportamiento favorable en la mayor parte de los productos, con base en información del INEGI 2011¹⁷.

El crecimiento de este mercado está asociado al desarrollo de nuevos productos por el lado de la oferta, como a la modificación de la demanda, con nuevos nichos que tienen como características el consumo de productos adicionados de más fácil consumo en las zonas urbanas (bebibles y licuados), o adicionados con ciertos nutrimentos o frutas, así como

modificados en su composición en el caso de los productos deslactosados, que brindan una opción accesible a los consumidores con intolerancia^a.

En la Figura 2 se presenta la producción industrial de yogur en toneladas durante los años 2005 al 2011. Donde se observa el incremento de producción de yogur, durante 6 años, debido a que al público le llama la atención la variedad de sabores, presentaciones y texturas que puede tener.

Figura 2: Producción industrial de yogur.¹⁷



Fuente: (Economía, 2012)

El yogur puede clasificarse en diferentes tipos dependiendo de su formulación, del contenido de grasa, del tipo de materias primas empleadas y de la presentación que tenga para el consumidor, entre ellos podemos encontrar las siguientes clasificaciones:

- a) Yogur afluado o griego: la leche pasteurizada es envasada inmediatamente después de la inoculación.
- b) Yogur batido: la inoculación de la leche pasteurizada se realiza en tanques de incubación. produciéndose en ellos la coagulación. Luego sufre un batido y se

^a Intolerancia: La intolerancia es la incapacidad genética de metabolizar nutrimento por falta de enzimas específicas; la más común es la lactosa por la ausencia de la enzima lactasa o β -galactosidasa del intestino delgado, encargada de hidrolizar el disacárido en sus respectivos monosacáridos.

envasa, tomando una consistencia líquida o semisólida. Este tipo de yogur presenta un 14 % de sólidos totales.

- c) Bebible: Es el producto que se obtiene de la leche pasteurizada con un contenido de sólidos totales entre 8 y 9 %; por tanto, la coagulación resulta en un producto fluido¹⁸.

Según la NOM-181-SCFI-2010 un yogur saborizado o con fruta puede contener hasta el 50 % (m/m) de ingredientes no lácteos, los cuales pueden ser añadidos antes o después de la fermentación.

El yogur con frutas contiene un 20 % más de carbohidratos que el yogur natural, esto se debe a que la fruta con el cual se elabora contiene distintas concentraciones y tipos de carbohidratos naturales y adicionados, entre esta sacarosa, fructuosa, glucosa y maltosa¹⁹.

La fruta es muy utilizada en la elaboración del yogur, en el mercado se puede encontrar una gran gama de presentaciones como mermeladas, pulpas, jarabes y distintos sabores, pero las más comunes son duraznos, fresas y moras¹⁹.

Se entiende por fresas congeladas rápidamente el producto preparado con fresas frescas, limpias, sanas, maduras, sin tallo y de textura firme, que se ajusten a las características de las especies *Fragaria grandiflora* L. y *Fragaria vesca* L.²⁰.

1.2.1 Composición del yogur

El valor nutritivo del yogur depende de su composición. Las materias primas utilizadas, los ingredientes agregados y el proceso de fabricación, determinan los contenidos de vitaminas, proteína, grasa y minerales⁴.

El principal azúcar del yogur es la lactosa, que se encuentra en el producto final en proporciones muy similares a la leche, es decir 4 - 5 %. Sin embargo, se ha comprobado que el yogur no causa trastornos digestivos para las personas lacto intolerantes y puede por lo tanto incluirse en su dieta⁴. La explicación más sencilla sobre esta tolerancia al yogur es que los microorganismos del yogur desde la incubación desdoblan la lactosa en glucosa y galactosa, las cuales son digeribles por los lactointolerantes⁴.

Su gran digestibilidad hace que el yogur sea una buena fuente de energía en la dieta. Las caseínas y las proteínas del suero contienen muchos aminoácidos esenciales y el consumo diario de 200 - 250 gramos de yogur cubre el 82 % del valor calórico aportado por las proteínas diariamente. Los yogures no desnatados son además una buena fuente de lípidos en la dieta. El Cuadro 6 muestra el incremento de sólidos no grasos e iones inorgánicos en yogur comparado con leche entera.

Cuadro 6. Concentración de algunos nutrimentos mayoritarios de la leche y el yogur²¹.

Nutrimentos (unidades / 100g)	Leche		Yogur		
	Entera	Descremada	Entero	Descremado	Con fruta
Calorías	67.50	36.00	72.00	64.00	98.00
Proteínas (g)	3.50	3.30	3.90	4.50	5.00
Grasa (g)	4.25	0.13	3.40	1.60	1.25
Carbohidratos (g)	4.75	5.10	4.90	6.50	18.60
Calcio (mg)	119.00	121.00	145.00	150.00	176.00
Fosforo (mg)	94.00	95.00	114.00	118.00	153.00
Sodio (mg)	50.00	52.00	47.00	51.00	-
Potasio (mg)	152.00	145.00	186.00	192.00	254.00

Fuente: (Tamime,1991)

El extracto seco total del yogur es parecido en todos los tipos, el mayor contenido en extracto seco magro es el del yogur descremado. Las concentraciones de los distintos nutrimentos en los yogures de frutas dependen del tipo de fruta añadida²¹.

En cuanto al contenido de vitaminas del yogur con base al contenido de vitaminas en leche, está sujeto a debate por varios autores, ya que unos aseguran que es una fuente rica en vitaminas, mientras que otros indican que durante la producción de yogur la cantidad de vitaminas disminuye. Se ha determinado que el contenido de vitaminas en el yogur respecto al contenido de vitaminas en la leche cruda depende grandemente de los procesos de fortificación y de elaboración como se muestra en el Cuadro 7.

Las altas temperaturas que se necesitan para elaborar el yogur influyen en la disminución del contenido de vitaminas. Las vitaminas más susceptibles son: C, B₆, B₁₂ y ácido fólico²².

Cuadro 7. Concentración de vitaminas en la leche y el yogur

Vitamina (unidades/100g)	Leche		Yogur	
	Entera	Descremada	Entero	Descremado
Vitamina A (UI)	148.00	-	140.00	70.00
Tiamina (B ₁) (µg)	37.00	40.00	30.00	42.00
Riboflavina (B ₂) (µg)	160.00	180.00	190.00	200.00
Piridoxina (B ₆) (µg)	46.00	42.00	46.00	-
Cianocobalamina (B ₁₂) (µg)	0.93	0.40	-	0.23
Vitamina C (UI)	1.5	1	-	0.70
Vitamina D (UI)	1.20	-	-	-
Vitamina E (UI)	0.13	-	-	Trazas
Ácido fólico (µg)	0.25	-	-	4.10
Ácido nicotínico (µg)	480.00	-	-	125.00
Ácido pantoténico (µg)	371.00	370.00	-	381.00

Fuente: (Tamime,1991).

1.2.2 La microbiología y la bioquímica de la fermentación del yogur

En la elaboración de yogur, el uso de cultivos lácticos es común, existen diversas compañías que ofertan las mezclas de los microorganismos liofilizados requeridos para elaborar un determinado tipo de yogur.

La función de cualquier cultivo iniciador es producir suficiente cantidad de ácido láctico en el menor tiempo posible en la leche, haciendo descender el pH de la leche de 6.7 hasta 3.8 con el objeto de que se lleven a cabo una serie de reacciones benéficas, entre estas: desarrollo de textura, viscosidad y sabor, que le dan a cada producto sus características propias y que respondan a las exigencias de los consumidores.

Los cultivos iniciadores pueden clasificarse en dos grupos en función de su temperatura óptima de crecimiento: mesófilos y termófilos. En la industria láctea se consideran termófilos a aquellos microorganismos que presentan una actividad máxima de crecimiento entre los 35 – 45 °C y se consideran mesófilos a aquellos cuya actividad máxima de crecimiento se presenta entre los 20 – 35 °C⁵.

Lactobacillus delbruekii ssp. bulgaricus es un bacilo homofermentativo Gram positivo, largo, no móvil el cual produce ácido D-(-) láctico. Es capaz de fermentar fructosa, galactosa, glucosa y lactosa, pero no así maltosa y sacarosa. Puede crecer a temperaturas superiores a 45 °C, pero normalmente tiene su óptimo entre 40 °C y 43 °C; no es capaz de adaptarse a temperaturas menores de 15 °C. Tiene la habilidad de desarrollarse a pH inferiores a 5.0, y presenta metabolismo fermentativo aun en presencia de aire. En tanto, *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus* es una bacteria Gram positiva, esférica, la cual se observa en pares o en cadenas; es homofermentativo y produce ácido L - (+) láctico a partir de glucosa, fructosa, lactosa y sacarosa. Tiene una temperatura óptima de desarrollo de 40 a 45 °C, aunque puede desarrollarse hasta a 50 °C, pero no a menos de 20 °C²³.

Ambos microorganismos tienen requerimientos nutrimentales complejos que se encuentran en la leche; utilizan la lactosa como fuente de energía y la transforman en ácido láctico. Durante el trabajo de los microorganismos, además del ácido láctico, se producen algunos metabolitos que son los responsables del aroma característico del yogur; entre ellos los más importantes son: el acetaldehído, el diacetilo y la acetoína. También, se obtienen ácidos volátiles, tales como: el fórmico, el acético, el propiónico, el butírico, el isovalérico y el caproico, los cuales junto con los metabolitos mencionados originan el aroma característico del yogur. El acetaldehído se produce por la vía de Embden-Meyerhof y es la sustancia responsable del aroma que se encuentra en mayor concentración en el yogur (entre 23 a 55 ppm, considerándose óptima de 23 a 41 ppm) ²⁴.

L. bulgaricus y *S. thermophilus* se estimulan mutuamente en una relación protooperativa; mientras la primera hidroliza activamente las proteínas, la otra le corresponde produciendo ácido fórmico y bióxido de carbono los cuales son estimulantes para *L. bulgaricus*. Este efecto sinérgico resulta en un incremento en el crecimiento y en la producción de ácido láctico y acetaldehído. También se ha sugerido que la glicina producida por el bacilo, como

un subproducto de la conversión de treonina a acetaldehído, estimula el crecimiento de la otra bacteria. Ambas especies pueden crecer en un pH bajo, pero *S. thermophilus* crece mejor al inicio de la fermentación cuando el pH es alto. El pH disminuye durante la fermentación, por la producción de ácido láctico, hasta alcanzar un valor inferior a 5.5. La acidez, el consumo de oxígeno y la liberación de sustancias volátiles que produce *S. thermophilus*, crean las condiciones ideales para que se desarrolle *L. bulgaricus*²³.

Desde el punto de vista bioquímico, la lactosa es hidrolizada dentro de la célula bacteriana por una lactasa, en unidades de glucosa y galactosa. La glucosa es metabolizada por la vía de Embden-Meyerhof, hasta ácido pirúvico, el cual se convierte en ácido láctico por la acción de la deshidrogenasa láctica presente en ambos microorganismos²². Cada especie produce un enantiómero diferente; la proporción del isómero L en el yogur es de 55 % a 60 % con respecto al ácido láctico total, y sólo este enantiómero es asimilable por los mamíferos incluyendo al hombre, aunque no hay ninguna evidencia de que el enantiómero D resulte tóxico. Por otro lado, ambas bacterias carecen de la enzima alcohol deshidrogenasa, por lo que son incapaces de transformar el acetaldehído a etanol²¹.

La cantidad de inóculo y el tiempo de fermentación también influyen en las características del yogur. Para producir un yogur a 42 °C durante dos horas y media, con una relación final de microorganismos de 1:1, es necesario inocular con una cantidad de cultivo equivalente al 3 % v/v de la leche en que se desea fermentar²⁴.

1.2.3 Proceso de elaboración de Yogur

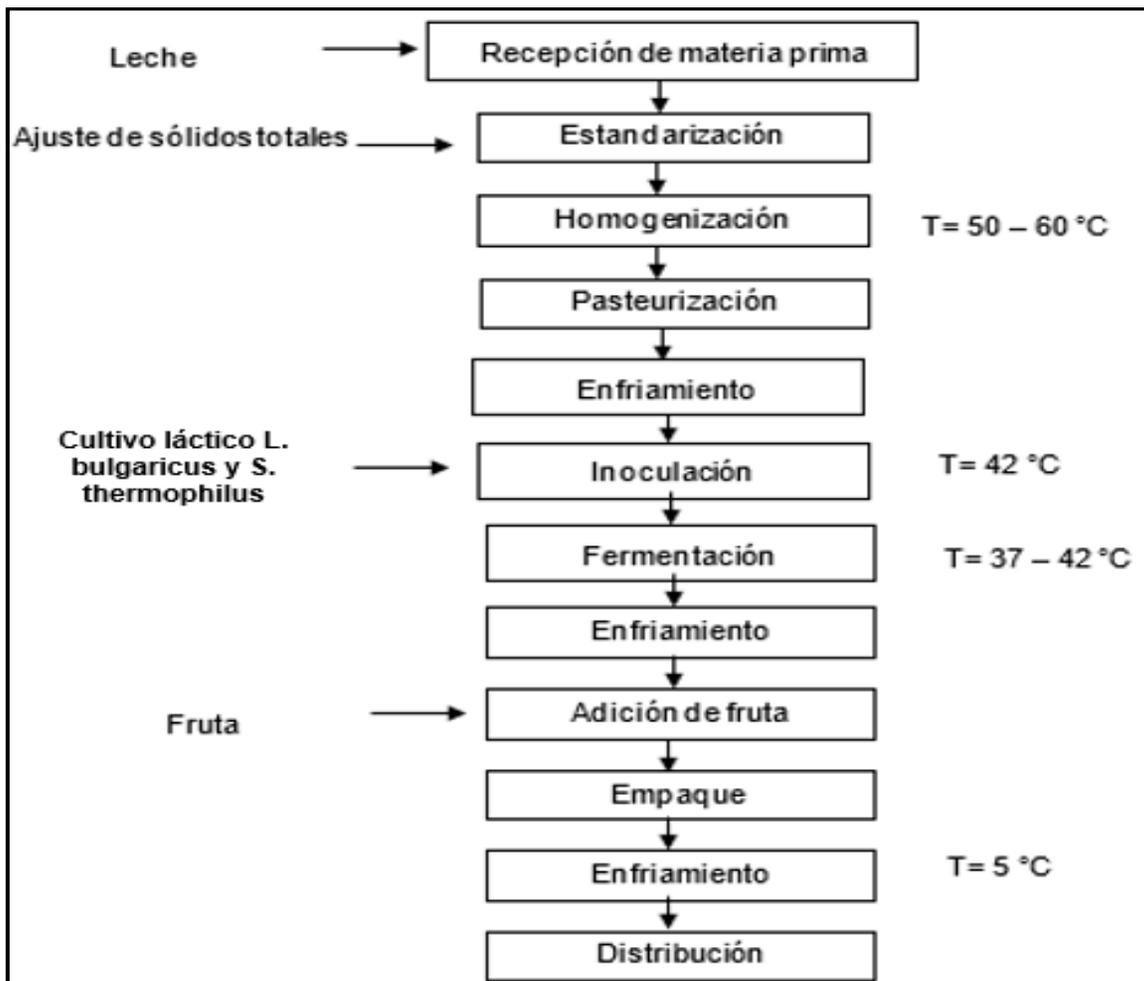
Los métodos de fabricación varían según la materia prima utilizada, el volumen de producción, la formulación del producto y el tipo de yogur que se desea obtener, sin embargo, existen algunos principios básicos comunes que determinan la naturaleza y calidad del producto final como son:

1. Aumento de la cantidad de sólidos totales que contiene la leche.
2. Tratamiento de la leche a altas temperaturas (> 80 °C) durante un tiempo suficiente para conseguir la desnaturalización de las proteínas.
3. Siembra del cultivo bacteriano.

4. Incubación en masa de la leche sembrada en condiciones que favorezcan la formación de un coágulo homogéneo, liso y viscoso con las características deseadas de pH, sabor y aroma.
5. Enfriamiento y adición de frutas, saborizantes, colorantes, etcétera.
6. Envasado y almacenamiento en refrigeración²⁵.

Uno de los ejemplos del proceso para la elaboración de yogur es que se presenta en la figura 3.

Figura 3: Proceso general de elaboración de yogur²¹



Fuente: (Tamime,1991)

A continuación, se describe el proceso general de elaboración de yogur representado en la figura 3 (pag. 17).

- a) Recepción de materia prima:** Proceso de verificación de los estándares de calidad microbiológicos y fisicoquímicos de las materias primas, requeridas para la elaboración de yogur.
- b) Estandarización:** Este es un proceso que se realiza para lograr el aumento de los sólidos totales en la leche y para lograrlo se debe estandarizar la cantidad de grasa en la misma. “En el año de 1983, Bottazzi reporta que los contenidos de grasa del yogur están en 0.5 %, en caso de yogur descremado y 3.5 %, en el caso del yogur entero”. Para realizar el aumento de los sólidos de la leche se puede seguir distintas opciones, pero la más tradicional y conocida por todos es agregar a la leche, leche en polvo hasta alcanzar el contenido de sólidos requeridos. Se puede elaborar yogur sin aumentar los sólidos totales de la leche, pero el efecto negativo sería la formación del gel, característica del yogur muy débil y se rompería con facilidad dando como resultado la separación del suero de la leche²⁴.
- c) Homogeneización:** Esta etapa consiste en someter a la leche a una temperatura de 60°C, con el fin de disminuir el tamaño de las gotas de grasa para lograr una completa homogeneización de los ingredientes. El resultado es un yogur más viscoso, más estable y con mejores propiedades sensoriales.
- d) Pasteurización:** Esta etapa del proceso es la más importante, es cuando se obtendrá la calidad del yogur, las proteínas de la leche se desnaturalizan provocando la liberación de péptidos que contribuyen al crecimiento de los microorganismos inoculados los cuales actúan favoreciendo aspectos de viscosidad del yogur y separación del suero de la leche. Además, se elimina gran parte de la flora que contiene la leche dando lugar al crecimiento de microorganismos productores del yogur. Se pueden realizar distintos tratamientos de acuerdo con el proceso de fabricación del yogur.
- Se debe considerar que el tratamiento térmico débil de la leche genera un yogur bajo en viscosidad, mientras que un sobrecalentamiento puede provocar una textura granulada y una tendencia a la separación del suero²⁴.

Los efectos buscados con la pasteurización son los siguientes:

- Eliminar totalmente los microbios patógenos que puedan provocar fermentaciones anormales, alterando la calidad del yogurt.
 - Reducir al menor número posible la flora banal que puedan provocar fermentaciones anormales, alterando la calidad del yogurt.
 - Producir la precipitación de las proteínas solubles sobre la caseína. Por efecto del calentamiento, las proteínas que se encuentran disueltas se insolubilizan y se depositan, en buena parte, sobre las micelas de la caseína.
 - Inactivar las enzimas naturales de la leche y las producidas por microorganismos contaminantes, para evitar alteraciones durante la elaboración y/o almacenamiento.
- e) Enfriamiento:** Este punto se refiere al enfriamiento de la leche a una temperatura óptima de crecimiento para los microorganismos, tratando que sea 42 ° C para mejores resultados.
- f) Inoculación:** Los cultivos que se utilizan para elaborar yogurt están compuestos de las bacterias *S. thermophilus* y *L. bulgaricus*, los mismos que son cultivos liofilizados; estos se añaden a la leche agitando bien para asegurar una adecuada distribución de los microorganismos. Una vez que se haya alcanzado los 42 ° C se procede a incubar la mezcla.
- g) Fermentación:** La fermentación se da a partir de este punto en un periodo de tres a seis horas, en este tiempo se da la producción de ácido láctico de los microorganismos la cual debe alcanzar entre 0.70 y 1.1 % y un pH de 4 a 4.5.
- h) Enfriamiento pos fermentación:** Una vez que se haya alcanzado la acidez deseada se detendrá el proceso de fermentación disminuyendo la temperatura ya que los microorganismos causantes de la misma no son capaces de crecer a temperaturas inferiores que 10 °C. Se procede a llevar al yogurt a refrigeración a una temperatura de 5 °C o 4 °C, esto brinda un efecto positivo ya que aumenta la firmeza del gel del yogurt²⁴.
- i) Adición de fruta:** La adición de la fruta se da una vez que esta haya recibido una cocción previa, que evita el crecimiento de hongos y levaduras que contaminarán al yogurt y disminuirán su vida útil, una vez que el yogurt haya enfriado, rompiendo suavemente el gel en este, ya que si llegara a agitarse en forma brusca se perdería

la viscosidad lograda en el mismo, colocándose en el recipiente primeramente la fruta anteriormente preparada, ya sea en trozos o en puré en porcentajes que varían de 5 a 25 % del producto final.

- j) **Empacado:** Cuando el yogur se ha enfriado y se ha colocado la fruta, en caso de que se esté elaborando yogur con frutas, se debe proceder a empacar el producto. Los envases que se utilizaran deberán ser resistentes y de un material que evite alteraciones físicas y químicas. El yogur ya empacado dura 30 días se lo debe mantener en frío con el motivo de aumentar el tiempo de vida útil²⁴.

1.2.3 Parámetros de calidad del yogur

Para que un yogur sea considerado de buena calidad debe cumplir con las siguientes especificaciones:

1. Sabor: debe tener un sabor ácido, libre de sabores amargos, rancios, oxidados, y podridos.
2. Textura: debe tener una textura firme y homogénea.
3. Apariencia: debe tener un color agradable y suave. El yogur sin sabor debe tener un color blanco brillante, la superficie debe ser suave y no tener sinéresis excesiva o con decoloración¹⁰.

El yogur debe cumplir las especificaciones microbiológicas presentadas en el Cuadro 8, los microorganismos correspondientes al cultivo iniciador y a las bacterias ácido lácticas alternativas deben estar viables, deben estar libres de materia extraña. Además, deben estar libre de contaminantes químicos²⁷.

Cuadro 8. Especificaciones microbiológicas¹⁶

Microorganismos	Límites
<i>S. thermophilus, L. delbrukii</i>	Mínimo 10 ⁷ UFC/g
Bacterias ácidolácteas alternativas	Mínimo 10 ⁶ UFC/g
Coliformes totales	Máximo 10 UFC/g
Levaduras	Máximo 10 ⁷ UFC/g

Fuente: (NOM-181-SCFI-2010)

1.2.4 Defectos en el Yogur

Los defectos en el yogur se ocasionan como consecuencia de una suma de factores que afectan las propiedades y características finales del producto, estos se clasifican en dos tipos principales de acuerdo con la característica o propiedad afectada como se describe a continuación en los Cuadros 9 y 10.

Cuadro 9. Defectos en la textura del yogur²⁷.

Defecto	Tipo	Razón
Grumoso	Apariencia desagradable e inaceptable por parte del consumidor	Inadecuadamente estabilizado
		Desarrollo de acidez no homogénea
		Enfriamiento deficiente después del empaque
Granuloso	Apariencia y palatabilidad desagradable e inaceptable por parte del consumidor	Desbalance del cultivo
		Producción de acidez muy rápida
		Temperatura de incubación demasiado alta
		Leche de pobre calidad
Desuerado	Consistencia inadecuada, apariencia desagradable	Pasteurización inadecuada
		Bajos sólidos no grasos
		Alto desarrollo de acidez
		Excesiva agitación
		Contaminación
Ligoso	Consistencia desagradable e inaceptable por el consumidor	Bajo pH del preparado de fruta
		Contaminación microbiológica
		Inadecuada selección del cultivo
		Excesivo uso de azúcar
Cuerpo débil	Consistencia inadecuada	Inadecuada selección del cultivo
		Bajos Sólidos (sustrato)
		Baja proteína
		Tratamiento térmico insuficiente

Fuente: (Rivera, 2009).

Cuadro 10. Defectos en el sabor del yogur. Continuación ²⁷.

Defecto	Tipo	Razón
Muy firme	Consistencia inadecuada	Excesivo uso de estabilizante y/o proteína
		Sólidos en exceso
		Estabilizante del preparado de fruta (acarreo)
Acidez alta	Sabor desagradable e inaceptable por parte del consumidor	Temperatura de incubación elevada
		Desbalance del cultivo
		Enfriamiento muy lento
Acidez baja	Sabor no adecuado	Temperatura de incubación inadecuada
		Nivel excesivo de azúcar o edulcorante
		Tratamiento térmico insuficiente
		Cultivo inactivo
		Sustancias inhibidoras
Amargo	Sabor desagradable y rechazo por parte del consumidor	Contaminación psicrotrófica con microorganismos
		Ingredientes de pobre calidad
Muy dulce	Sabor no característico y rechazo por algunos consumidores	Producción de ácido insuficiente
		Muy alto en azúcares añadidos

Fuente: (Rivera,2009):

1.2.5 Propiedades del yogur

El yogur es considerado un alimento fundamental para la salud, debido a que es un producto del grupo probiótico, los cuales contienen varias colonias de microorganismos vivos que influyen positivamente en el organismo. La palabra probiótico significa "por la vida", esto se refiere a que son alimentos de cultivos puros, mezclas de microorganismos viables y activos los cuales, al ser consumidos por el hombre o los animales, aportan efectos realmente

benéficos, mejorando principalmente la salud de la flora intestinal²⁸. En medicina natural se sabe que, si el intestino está sano, todo el organismo lo está.

El yogur es uno de los alimentos más favorables, en dónde sus principales efectos en la salud son: Mejorar, restaurar y sanar la flora intestinal, sus propiedades antimicrobianas permiten la evacuación del contenido estomacal, inhibiendo los microorganismos indeseables alojados en el estómago; mantener la flora intestinal normal y la microflora urogenital. Mejora el valor nutrimental de alimentos y la resistencia contra organismos patógenos.

Actúa en la resistencia natural del individuo a las infecciones, aumenta la resistencia a enfermedades porque el consumo habitual del yogur estimula el sistema inmune. Muy útil para las personas que padecen de diarreas, estreñimiento o trastornos gastrointestinales. Ayuda en casos de patología cardiovascular, ayuda en la prevención de la osteoporosis en cualquier edad (el yogur aporta el 70 % del contenido total de calcio en la dieta, por lo que este alimento se convierte en una abundante fuente natural de calcio).

Las bacterias lácticas del yogur incrementan diversas funciones inmunológicas, que estimulan la acción antitumoral, la cual retrasa (o evita) la reaparición de cáncer. En una persona que toma yogur natural constantemente se reduce el riesgo de padecer cáncer de colon y de mama, además de que mejora la calidad de vida en personas que ya lo padecen.

Es un excelente antialérgico: al depurar los intestinos, reduce o desaparece las alergias provocadas por un organismo intoxicado. Ayuda en casos de anorexia y bulimia; su alto contenido en calcio y proteínas de alta calidad, vitaminas e hidratos de carbono restaura enormemente las defensas del organismo. Si la salud empieza en los intestinos, podemos decir que la belleza también.

El yogur es útil para tener una piel saludable, pues al mantener los intestinos limpios, estos absorben y eliminan con mayor eficiencia los nutrimentos, lo cual se refleja inmediatamente en la piel, la cual ya no tiene que servir como segunda opción para eliminar toxinas o desechos tóxicos difíciles de desalojar, por lo que se puede decir que el consumo habitual del yogur casero u orgánico de preferencia (el industrializado muchas veces trae harinas y

mucha azúcar refinada) promueve en gran medida la juventud y belleza general, además de promover una vida larga y sana.

El yogur no sólo tiene beneficios en la piel cuando se ingiere con frecuencia, sino cuando se aplica directamente sobre la piel o el cabello en forma de mascarilla. El yogur actúa como desinfectante y refrescante, además de darle a la piel lozanía y un aspecto realmente joven²⁹.

1.3 Deshidratación en los alimentos

El agua es, por mucho, el principal constituyente de todos los tejidos vivos, ya que representa al menos el 60 % de su composición y hasta un 96 - 97 % en algunas frutas y hortalizas. El agua influye en las propiedades de los alimentos y, a su vez, los componentes de los alimentos influyen en las propiedades del agua, así como sus propiedades fisicoquímicas influyen también en el diseño de procesos para conservación y transformación de los alimentos.

Uno de los métodos más antiguos para la conservación de los alimentos es la deshidratación, que en general se refiere a la eliminación de la mayor parte del agua contenida en el alimento.

La deshidratación se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua de los alimentos, por evaporación, aplicando calor (en el caso de la liofilización por sublimación del agua).

El objetivo principal de la deshidratación consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su actividad de agua, Esto se logra reduciendo la humedad disponible o la actividad de agua hasta un nivel que inhibe el crecimiento y desarrollo de microorganismos patógenos de los procesos de deterioro, reduciendo la actividad de las enzimas y la velocidad a la que ocurren los cambios químicos no deseables¹⁴.

Cabe resaltar que, en los alimentos, tanto tejidos animales como vegetales, el agua no está uniformemente distribuida por muchas razones, por ejemplo, por los complejos hidratados que se producen con proteínas, los hidratos de carbono, las diversas estructuras internas propias de cada tejido, las propiedades hidrofílicas de las moléculas de las células u

organelos del alimento. Por estas razones, en los alimentos existen diferentes estados energéticos en los que se encuentra el agua, lo cual afecta procesos como la congelación y la deshidratación de alimentos¹⁴.

Comúnmente secar un material se logra por evaporación del agua líquida que este contiene, la salida forzada del agua rompe estructuras a su paso, con la consiguiente pérdida de volumen. Esto frecuentemente resulta en cambios profundos en apariencia, sabor y además la rehidratación es difícil.

En general, la deshidratación se describe como una operación de transferencia simultánea de energía y materia. La evaporación del agua viene provocada por la transferencia de calor sensible y de calor latente al alimento. Los procesos de secado se clasifican de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua como sigue⁷:

1. Añadiendo calor por contacto con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.
2. En el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con mayor rapidez a presiones bajas y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación.
3. En la liofilización, el vapor de agua se sublima directamente desde el alimento congelado

Es importante resaltar que la aceptación de un producto está en función de la conservación de las características de los ingredientes. La liofilización produce alimentos que conservan sus propiedades físicas, nutrimentales y sensoriales, durante y después del proceso de deshidratación, lo que hace que tengan mayor aceptación.

En el Cuadro 11 se muestran las principales diferencias entre la liofilización y la deshidratación convencional por aire caliente.

Cuadro 11. Diferencias entre la deshidratación convencional y la liofilización³⁰

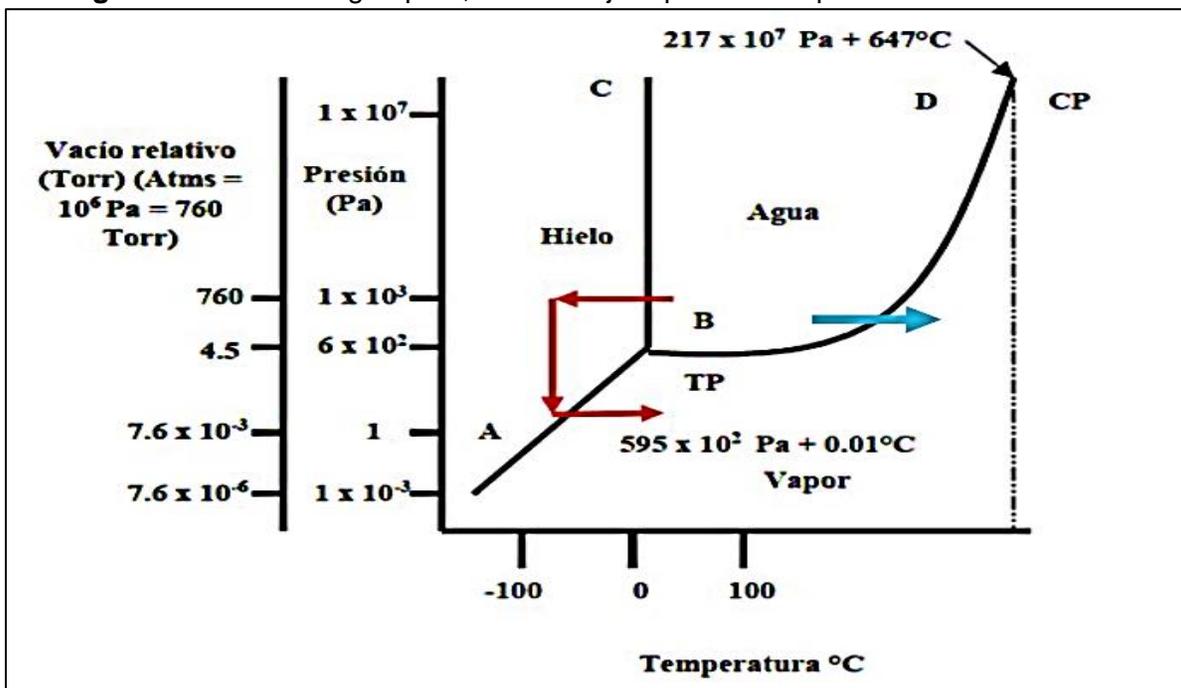
Deshidratación convencional	Liofilización
Eficaz si se trata de alimentos fácilmente deshidratados (verduras y granos)	Es un sistema eficaz para la mayor parte de los alimentos, pero generalmente solo se emplea cuando los otros métodos resultan ineficaces
Inadecuado para la carne	Eficaz con carnes crudas o cocinadas
Rango de temperatura 37 – 93 °C	Temperaturas inferiores a las del punto de congelación
Presión atmosférica	Presiones inferiores a la atmosférica (22 - 133 Pa)
Evaporación del agua desde la superficie del alimento	El agua se sublima desde el frente del hielo
Migración de los solutos y en algunas ocasiones, formación de corteza externa	Migración de solutos mínima
El estrés que se genera en los alimentos sólidos provoca daños estructurales y retracción	Cambios estructurales y retracción mínimos
Rehidratación lenta e incompleta	Rápida y completa rehidratación
Las partículas sólidas o porosas son a veces más pesadas que el alimento original	Las partículas del material deshidratado poseen menos densidad que el alimento original
Frecuentes olores y aromas anormales	Olores y aromas generalmente normales
El color es generalmente más oscuro	Color generalmente normal
Se pierde valor nutritivo	Pérdidas mínimas de nutrimentos
Más barato	Hasta cuatro veces más caro que la deshidratación normal

Fuente: (Fellows,2007).

1.3.1 Liofilización

El principio de la liofilización es producir una presión de vapor tan grande como sea posible, la sublimación se logra con un gradiente de presión de vapor entre el entorno del producto y el frente del hielo del interior del mismo³⁴. La sublimación ocurre cuando la presión y la temperatura están por debajo del punto triple, esto es 4.58 mmHg (610.61 Pa, 0.006 atm) y 0.01° C (Figura 4). El diagrama de fases está separado por líneas en tres regiones, las cuales representan los estados termodinámicos del agua; sólido, líquido y gaseoso, en un sistema cerrado.

Figura 4: Fases del agua pura, la línea roja representa el proceso de liofilización⁷.



Fuente: Geankoplis, C. J. (2006). Procesos de transporte y operaciones unitarias

Debido al alta calidad de los productos obtenidos y como por ejemplo para secar café, enzimas, algunos ingredientes alimenticios y otros alimentos de alto valor agregado.

La liofilización evita muchos de los problemas del secado en fase líquida. Hay una buena retención del aroma, sabor, nutrientes y el encogimiento de los productos liofilizados, es pequeño. La textura es aceptable, debido a que la red molecular espacial está posicionada

durante todo el proceso. Los productos liofilizados pueden ser almacenados a temperatura ambiente por periodos largos y la rehidratación es fácil⁸.

Los puntos a lo largo de las líneas de separación representan la combinación de temperatura y presión en la cual dos estados están en equilibrio: equilibrio líquido-gas (BD), equilibrio líquido-sólido (B - C) y equilibrio sólido-gas (A - B), condiciones donde tiene lugar la liofilización. La sublimación es endotérmica y el calor de sublimación es del orden de 680Kcal/kg (2838KJ/Kg). El punto TP (ver Figura 4) representa la única combinación de temperatura y presión en la cual los 3 estados, están simultáneamente en equilibrio y es llamado el punto triple³³.

La liofilización está representada en la Figura 4, donde las líneas rojas muestran el proceso desde la congelación y la sublimación, y la línea azul representa la evaporación del agua en el proceso de secado con aire caliente.

A continuación, se enumeran las principales características de los productos alimenticios liofilizados³⁰:

1. Deshidratación total (99 %).
2. Rápida y completa rehidratación.
3. La red molecular espacial está posicionada.
4. Eficaz para la mayor parte de los alimentos, se emplea cuando los otros medios resultan ineficientes.
5. Temperaturas inferiores a las del punto de congelación.
6. Presiones inferiores a la atmosférica (27-133 Pa).
7. El agua se sublima desde el frente de hielo.
8. La migración de solutos mínima.
9. Sólo elimina agua y algunos solventes.
10. Posibilidad de trabajar en esterilidad.
11. Posibilidad de dejar el producto en alto vacío.
12. La preservación se incrementa exponencialmente
13. No altera la estructura fisicoquímica del material original crudo a diferencia de los procesos con calor, la liofilización incrementa el aspecto, textura, sabor y aroma del alimento ya que no se pierden, sino que se intensifican.

14. Las partículas del material deshidratado poseen menos densidad que el alimento original.

15. Olores, colores y aromas generalmente normales.

La liofilización se lleva a cabo en tres diferentes etapas. El primero es una pre-congelación hasta una temperatura donde el material es completamente sólido. La segunda etapa es la sublimación o primer secado, en la que todo el hielo libre se elimina, dejando un material aparentemente seco, el cual, sin embargo, puede contener una cantidad significativa de agua ligada. La tercera y última etapa es la desorción o segundo secado, donde el agua ligada se elimina⁸.

1.3.1.1 Congelación

Un alimento es un sistema fisicoquímico de alta complejidad que involucra numerosas variables física y químicas³².

Una de las propiedades más relevantes del agua en alimentos es el descenso del punto de congelación. Casi todos los productos alimenticios contienen cantidades de humedad o agua relativamente grandes en las que varios solutos están presentes, el punto de congelación real o inicial del agua en el producto es abatido hasta un nivel que está por debajo del esperado para el agua pura.

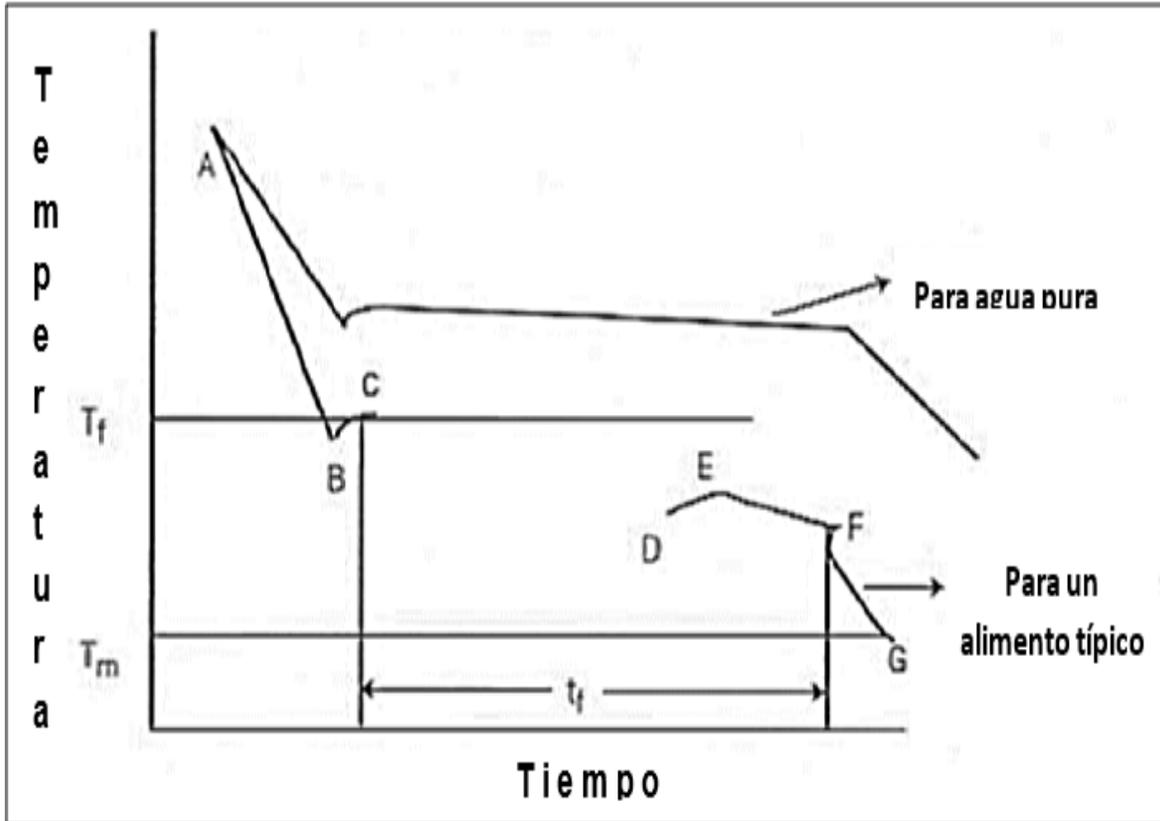
La magnitud de este abatimiento se convierte en una función directa del peso molecular y concentración del soluto en el alimento y en solución con el agua. El proceso real de congelación en productos alimenticios es un poco más complejo que la congelación del agua pura, como es de esperar³⁵.

Este proceso se puede visualizar en la Figura 4, que compara la curva de congelación del agua con un alimento. En el agua pura, la temperatura desciende cuando el calor es removido del sistema hasta que se alcanza el punto de congelación y desciende por debajo de él, en el proceso de súper-enfriamiento resultando eventualmente en la nucleación del hielo.

La liberación del calor de cristalización eleva la temperatura otra vez hasta 0 °C, y permanece constante mientras el calor latente es removido del sistema agua. Siguiendo a

la remoción de calor latente, la temperatura desciende otra vez mientras la energía es removida.

Figura 5. Comparación de curvas de congelación para agua pura y un alimento representativo con un soluto principal: t_f = tiempo de congelación, T_f = temperatura de congelación, T_m = temperatura del medio de congelación³⁶.



Fuente: Sharma, S. K., Mulvaney, S. J., y Rizvi, S. H. (2003). Ingeniería de alimentos Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio.

Sin embargo, el proceso inicial de congelación y cristalización que se lleva a cabo en un producto alimenticio es diferente del que ocurre en la congelación del agua pura. Si se monitorea la temperatura en el punto de enfriamiento más bajo, en el centro térmico de un alimento, se obtiene una curva característica mostrada en la Figura 5. La porción AB de la curva indica que el alimento se enfría por debajo de su punto de congelación T_f , el cual es siempre menor que $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En el punto B, el agua permanece en estado líquido, aunque la temperatura podría estar por abajo del punto de congelación, esto es el súper-enfriamiento y podría alcanzar hasta 10 °C por abajo del punto de congelación.

Durante BC, la temperatura aumenta de forma rápida hasta el punto de congelación, cuando empiezan a formarse los cristales de hielo y se libera el calor latente de cristalización.

Durante CD, el calor continúa siendo eliminado del alimento conforme se forman cristales de hielo. El punto de congelación disminuye debido a que aumenta la concentración del soluto en el líquido sin congelar y el punto de congelación baja. En esta parte de la operación se forma una cantidad importante de hielo. Durante DE, uno de los solutos se vuelve supersaturado y cristaliza.

El calor latente de cristalización se libera y la temperatura aumenta ligeramente hasta la temperatura eutéctica T_e , de ese soluto. La importancia de esta temperatura reside en que es la máxima temperatura para llevarse a cabo la liofilización sin provocar un daño grave al producto

. Durante EF, continúa la cristalización del agua y el soluto y finalmente durante FG, la temperatura de la mezcla hielo-agua disminuye hasta igualar la del congelador. Una porción del agua permanece sin congelar y ello depende del tipo de alimento, su composición y la temperatura de almacenamiento³⁶. Desafortunadamente, en la mayoría de los casos prácticos, el soluto no cristaliza realmente. La solución continúa concentrándose mientras que el agua es congelada, y su viscosidad se incrementa rápidamente, eventualmente se hace almibarado y gomoso.

El reducir aún más la temperatura finalmente causa la formación de un estado vítreo amorfo que contiene, como ya se dijo, algo de agua ligada. Esto ocurre en la temperatura de transición vítrea T_g .

En tal caso, no habrá temperatura eutéctica como tal, pero hay una temperatura máxima característica del producto para la liofilización, llamada temperatura de colapso⁹. En este sentido, los valores de T_g para muchos grupos alimenticios (productos lácteos: -23 a -41

°C, frutas y jugos de fruta: -35 a -43 °C, vegetales: -8 a -27 °C), son un indicador de la temperatura mínima para comenzar el proceso de liofilización¹. Durante la etapa de congelación, el objetivo es la congelación del agua libre del producto.

En este paso, más del 95% del agua libre es congelada. La temperatura del producto tiene que ser mucho más baja del verdadero punto de congelación del producto antes que la congelación ocurra.

El método más favorecido en la mayoría de las aplicaciones actuales es el congelar las muestras del producto cerca de los -40 °C en un congelador convencional de ráfaga o de flujo y luego transferirlo rápidamente al liofilizador⁸. La velocidad de enfriamiento influirá en la estructura de la matriz congelada. Si el agua se congela rápidamente, los cristales de hielo serán pequeños.

Esto puede causar poros de estructura más fina en el producto liofilizado con alta resistencia al flujo de vapor y mayor tiempo de secado primario. Si la congelación es más lenta, los cristales de hielo crecerán desde la superficie de congelación y serán más grandes. El producto resultante puede tener poros con estructura más gruesa y tal vez un tiempo más corto de secado primario¹.

El tipo de congelación y la velocidad de cristalización durante la congelación tienen importantes efectos en la estructura de los productos alimenticios liofilizados. Los factores involucrados son muy complejos, porque la distribución del tamaño del poro depende de la distribución del tamaño del cristal de hielo.

El método de enfriamiento también afectará la estructura y la apariencia de la matriz alimenticia y del producto final. Esto debido a que algunos materiales forman una capa vítrea, las condiciones de enfriamiento deben ser controladas para evitar la formación de una cubierta densa en la superficie del producto congelado que pueda obstruir la salida del vapor de agua durante las subsecuentes fases del secado.

Una consecuencia secundaria de la concentración por congelación se relaciona con su efecto en la velocidad de las reacciones en la fase de la solución residual. Se considera una congelación rápida, al proceso que permite congelar el producto en al menos 90

minutos o menos, sin embargo, también se ha definido como la congelación que progresa a través del material a la velocidad de 0.3 cm por minuto o más³⁷. Durante esta concentración los solutos en la mezcla precipitan al estado cristalino en varias etapas durante el proceso de concentración por congelación cuando se alcanzan la concentración de saturación causando cambios de pH que no pueden ser detectados¹.

1.3.1.2 Secado primario

Durante esta etapa se elimina aproximadamente el 90 % del total del agua en el producto, principalmente el agua libre y algo del agua ligada, es decir toda el agua congelada del alimento³⁸.

El producto congelado es calentado bajo condiciones de vacío, la presión de la cámara se reduce para remover el agua congelada por sublimación mientras el producto es mantenido por debajo de la temperatura T_g ³³. Cuando en el proceso de liofilización comienza con el aumento de temperatura de las charolas, empieza a formarse un frente de sublimación o interfase (Figura 5) entre la capa seca y la capa congelada de la muestra, este frente avanza progresivamente, y en un determinado instante, a una temperatura de interfase le corresponde una determinada presión de saturación.

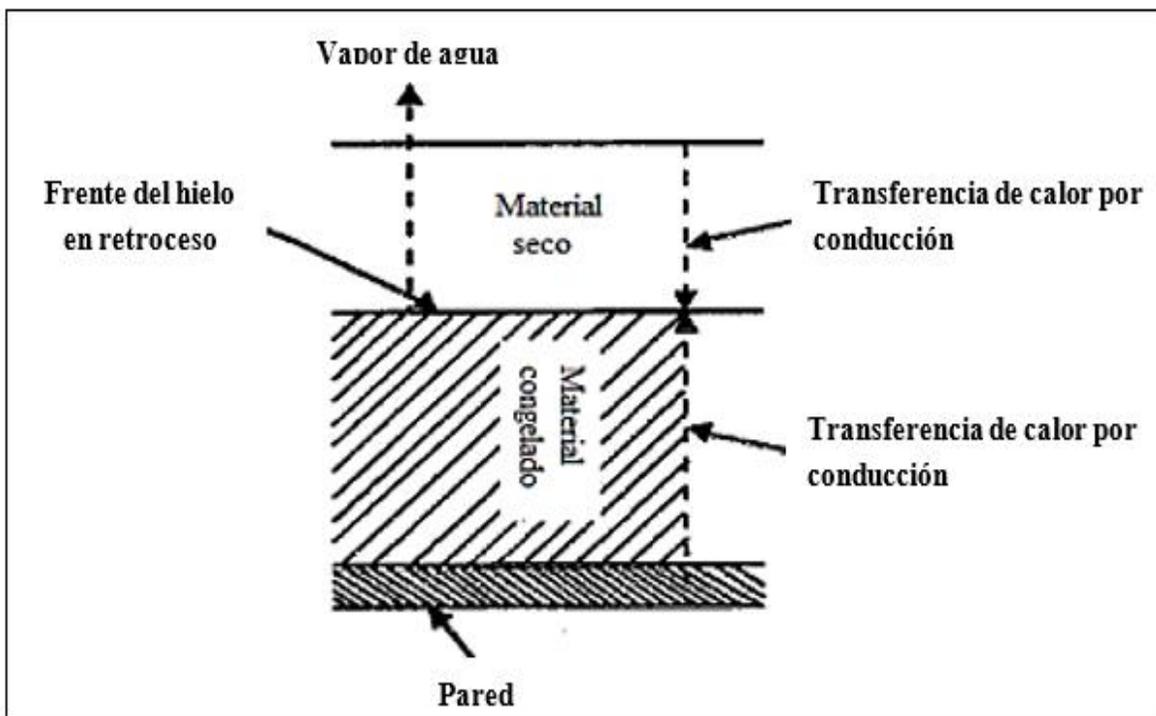
La transferencia de masa ocurre por la migración de vapores a través de la capa seca de la muestra bajo la acción de una diferencia de presión, esta transferencia es alta cuando la diferencia de presión es grande³⁰. El calor debe ser transferido al frente del hielo a través del material congelado, el cual usualmente tiene una pobre conductividad térmica.

La energía requerida para mantener la sublimación se supone que es igual al flujo de calor por conducción, convección y/o radiación, suministrado por el gradiente de temperaturas entre el producto congelado y la fuente de calor en la cámara de secado¹. Debido a que la sublimación es un proceso endotérmico, al sublimarse el agua, el producto se enfría. Por lo tanto, a través de esta fase la sublimación se irá haciendo más lenta y el producto permanecerá más frío que la temperatura de las charolas, hasta que la velocidad de ganancia de calor hacia el material sea igual a la velocidad de pérdida de calor debida a la sublimación y remoción de las moléculas más energéticas⁸.

La velocidad de sublimación del hielo en el producto congelado, depende sobre todo de la diferencia existente entre la presión de vapor en el producto y la presión de vapor del condensador. Las moléculas migran desde una mayor presión de vapor de agua hacia una menor en el condensador³⁵. El vapor de agua extraído es recolectado en la superficie del condensador.

El cual tiene que tener suficiente área superficial y capacidad de enfriamiento para retener toda el agua sublimada del lote a una temperatura menor a la del producto. Si la temperatura del hielo en el condensador es más caliente que la del producto, el vapor de agua tenderá a moverse hacia el producto y el secado se detendría. Al final del secado primario, la temperatura del producto aumentará asintóticamente hasta la temperatura de la charola. Sin una fuente de calor el proceso se detendría eventualmente. Este y otros métodos pueden ser usados para determinar el punto final del secado primario¹.

Figura 6. Transferencia de calor y de masa en el secado por congelación⁶.



Fuente: Franks, F. (1998). Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice. European J. of Pharmaceutics and Biopharmaceutics; 45: 221-229.

El secado primario se lleva a cabo tradicionalmente a presiones de cámara de 40 - 400 mmHg (5333.28 – 53 3328 Pa ó 0.053 – 0.53 atm) y temperaturas útiles de -30 °C a +10°C. Desde -7 °C para manzanas hasta -23 °C para extractos de café y -25 °C para zanahorias¹.

A través de esta etapa el producto se mantiene en estado sólido, por debajo de la temperatura de colapso del producto temperatura de transición vítrea (Tg), en el caso de productos amorfos o la temperatura eutéctica (Te), en el caso de productos cristalinos para secarlo con la retención de la estructura establecida en la etapa de congelación, las moléculas de agua que se escapan dejan huecos, lo cual resulta en una estructura seca, porosa y esponjosa³⁹.

Si la temperatura Te del eutéctico más bajo, exhibido por el material, es excedido durante el secado, entonces la fusión del hielo puede ocurrir, dando lugar a graves defectos en el material, tales como encogimiento. Estas a veces son confundidas con el colapso haciéndolo poco atractivo y difícil de reconstituir¹.

A una temperatura por debajo de la del colapso (Tc), el soluto se mantendrá rígido durante el secado primario. Sin embargo, si el secado es llevado a cabo por arriba de la temperatura Tc, el soluto será viscoso. Mientras éste es soportado por los cristales de hielo puro, parecerá rígido, pero cuando éste se sublima, ya no sostendrá el soluto y aparentemente el material seco colapsará para formar una masa impermeable⁸. Cualquier restricción en el flujo puede causar un incremento en la temperatura del producto. El grosor de la capa seca tiene un impacto directo en la velocidad de secado: el proceso de secado es más lento cuando el grosor aumenta. La mayor limitación para la velocidad de secado ocurre cuando el material tiene una piel o contenga agua en venas. Por ejemplo, la grasa es muy difícil de liofilizar, para propósitos de estudio, si está en forma de hojas completas, porque el vapor de agua tiene que pasar a través de toda la longitud de las venas impermeables para escapar⁸.

1.3.1.3 Secado secundario

En el secado secundario el agua no congelada es removida por desorción de la capa seca del producto, logrando que el producto contenga menos del 1 al 3 % de agua residual³¹.

Esta es la remoción del agua ligada, la cual puede ser agua de cristalización, agua dispersa al azar en el material vítreo, agua intracelular o agua de absorción⁸.

Durante esta etapa, la temperatura de la charola y del producto es incrementada para promover la velocidad adecuada de desorción y lograr la humedad residual deseada para mantener un producto óptimo y estable. Y debido a que después del primer secado el producto ya no tiene agua libre, se puede aumentar la temperatura sin peligro de fusión. Sin embargo, la temperatura no debe aumentarse rápidamente ya que algunos productos aun contienen un 10 % o menos de agua y aun se puede rebasar la temperatura de transición.

Además, los productos que contienen cantidades considerables de proteínas, requieren agua para mantener sus estructuras secundarias y terciarias, y sin agua éstas pueden desnaturalizarse y perder su actividad. Por lo que el contenido de agua debe ser controlada cuidadosamente, asimismo la temperatura para evitar daños por calor¹.

1.3.2 Características y estabilidad de los alimentos liofilizados

Muchos factores pueden afectar la estabilidad del material liofilizado, dos de los más importantes son la humedad (de 1 a 3 % remanente) y el oxígeno. La estructura física está relacionada con la textura, capacidad de rehidratación y colapso e involucra conceptos tales como porosidad, tamaño de poro, distribución de este, área superficial específica y densidad. Las propiedades sensoriales incluyendo el color, aroma y sabor, y la estabilidad, son función de la degradación de nutrimentos como proteínas y lípidos, además de la actividad de agua⁴⁰.

Porosidad

La porosidad, distribución del tamaño del poro y por lo tanto la superficie específica, tienen roles importantes en la capacidad de rehidratación y en las propiedades mecánicas y texturales del alimento liofilizado, así como en las reacciones de deterioro y las propiedades de transporte. En general se ha observado que la velocidad de congelación determina el tamaño del cristal de hielo y por lo tanto la porosidad final del producto³⁸.

Textura

La textura aparece como una percepción fisicoquímica compleja y multidimensional⁴¹. Se puede definir como la unión de las propiedades reológicas y de la estructura de un producto alimenticio perceptible por los receptores mecánicos, táctiles y eventualmente visuales y auditivos, condicionando la apetencia de un alimento.

1.3.3 Envasado y almacenamiento de productos liofilizados

La humedad residual del material es un factor crítico que afecta la vida de anaquel del producto. Por naturaleza los productos liofilizados son higroscópicos y la exposición a humedad durante el almacenamiento puede desestabilizar el producto¹. Almacenar los productos en ambientes con bajas humedades puede reducir el riesgo de degradación. El oxígeno es también determinante en la estabilidad de la mayoría de los materiales, los efectos de degradación del oxígeno y la humedad son dependientes de la temperatura, pues a una mayor temperatura durante el almacenaje, más rápidamente se degrada un producto¹. Los productos liofilizados deben ser almacenados en empaques sellados⁸.

El empaque usado debe ser impermeable a estos factores. Ver figura 14 (pag, #), donde se muestra el envase utilizado en el presente trabajo. Una práctica actual es el almacenado bajo un gas inerte seco, usualmente nitrógeno puro seco en un empaque de baja permeabilidad. La calidad y apariencia del alimento liofilizado depende de su composición, geometría, envase y otros muchos parámetros del equipo y del proceso, que, a pesar de su complejidad, son determinantes para una liofilización exitosa⁶.

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1 Objetivos

Objetivo general

Desarrollar la mejor formulación para un snack nutritivo a base de yogur tipo griego con fresa, variando diferentes concentraciones de fresa y azúcar.

Objetivos particulares

Objetivo 1. Elaborar formulaciones de yogur tipo griego con fresa, variando concentración de azúcar (10 a 20 %) y fresa (12.5 a 20 %).

Objetivo 2. Realizar una evaluación sensorial a las diferentes formulaciones de yogur tipo griego con fresa, para elegir la preferida por los consumidores.

Objetivo 3. Realizar las curvas de secado en el liofizador a tres diferentes temperaturas (-20, -17 y -14 °C), para determinar las condiciones de operación.

Objetivo 4. Obtener conglomerados liofilizados de yogur tipo griego con fresa de tres diferentes formulaciones.

Objetivo 5. Determinar el análisis químico proximal de las tres diferentes formulaciones de los conglomerados de yogur tipo griego liofilizado con fresa para conocer el aporte nutrimental.

Objetivo 6. Evaluar la calidad sanitaria de las tres formulaciones de conglomerados de yogur tipo griego liofilizado de fresa de acuerdo a lo establecido en la normatividad mexicana vigente.

Objetivo 7. Evaluar la viabilidad de los microorganismos presentes en el yogur después de la liofilización.

Objetivo 8. Realizar pruebas sensoriales a las tres formulaciones de conglomerados de yogur tipo griego liofilizado con fresa para determinar la formulación preferida por 100 niños entre 5 y 10 años.

2.2. Descripción del Cuadro Metodológico

A continuación, se describe la metodología a seguir para desarrollar y elegir la mejor formulación, para un snack nutritivo a base de yogur tipo griego con fresa, el seguimiento de los objetivos se puede observar en la figura 7.

2.2.1 Estudio de mercado

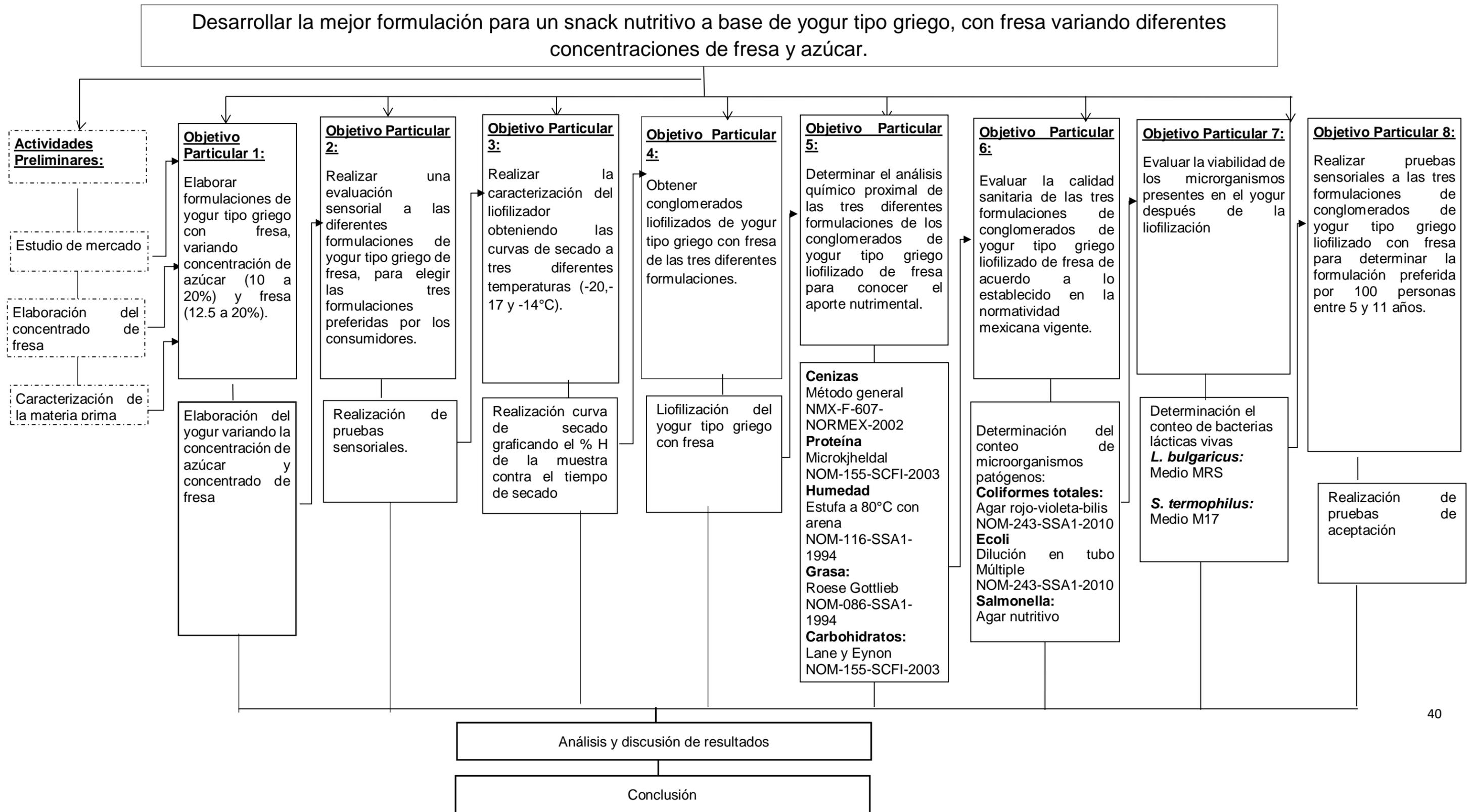
Se realizó una encuesta a 100 personas de distintas edades utilizando la papeleta que se observa en la figura 7, para determinar el sabor y el tipo de yogur a formular, y dar seguimiento al objetivo 1.

En la figura 7 se puede ver el cuestionario que se le presentó a los consumidores potenciales del snack a base de yogur.

Figura 7. Encuesta de consumo de yogur

<u>Encuesta de consumo de yogur</u>					
Nombre:			Fecha:		
Instrucciones: Se realizarán una serie de pregunta favor de responder marcando el inciso de su preferencia					
1. Sexo:		a) Masculino	b) Femenino	Edad:	
2. ¿Es usted consumidor de yogur?					
a) Si		b) No ¿Por qué?:			
3. ¿Con que frecuencia usted consume yogur?					
a) Diario	b) Una vez por semana	c) 2 a 3 veces por semana	d) Una vez por mes		
4. ¿Qué tipo de yogur consume usted?					
a) Batido	b) Bebible	c) Griego	Otros:		
5. ¿Cuál es su sabor favorito de yogur?					
a) Natural	b) Fresa	c) Mango	d) Piña coco	e) Durazno	Otros:

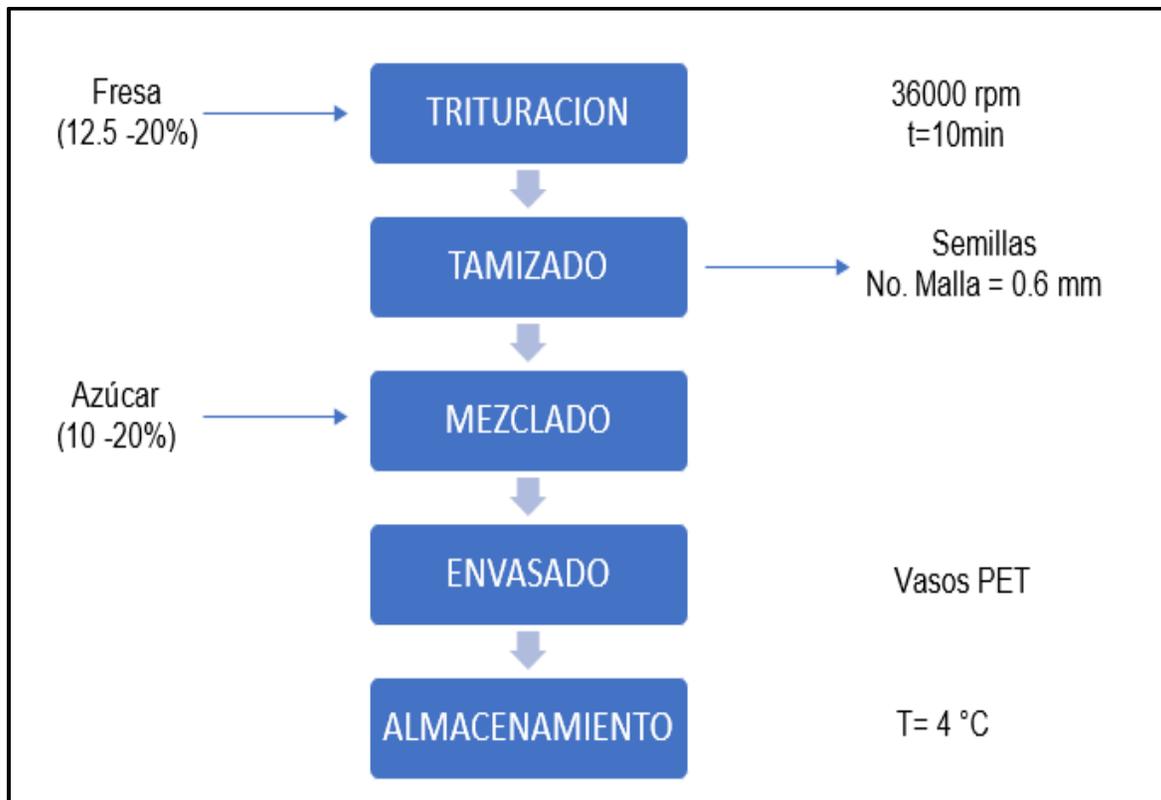
Figura 9. Cuadro metodológico



2.2.2. Concentrado de fresa

Con base a los resultados obtenidos en la encuesta, se procedió a realizar el concentrado de fresa siguiendo el proceso que se observa en la figura 9.

Figura 9. Diagrama de elaboración del concentrado de fresa.



El proceso de preparación del concentrado de fresa se describe a continuación:

1. Trituración: se trituró la fresa previamente tratada por IQF^b a 3600 rpm durante 10 min, obteniendo un puré.
2. Tamizado: una vez obtenido el puré se retiraron las semillas de la fresa utilizando un tamiz de 0.6 mm.

^b IQF: Individual Quick Freezing (Congelación rápida individual)

3. Mezclado: se realizó un mezclado variando la concentración de azúcar y fresa, obteniendo diferentes concentrados de fresa como se muestra en la Cuadro 11.
4. Envasado: los concentrados se envasaron en recipientes PET.
5. Almacenamiento: Los concentrados se refrigeraron a 4 °C hasta que se sometieron al proceso de liofilización.

En el Cuadro 12 se muestran las 9 formulaciones de concentrado que se utilizaron para la elaboración de yogur, variando la concentración de azúcar y fresa en cada una de ellas.

Cuadro 12. Formulaciones de concentrado para elaboración de yogur.

Formulación	% Azúcar	% Fresa
Natural	N/A	N/A
Fresa	N/A	15
1	10	12.5
2	15	
3	20	
4	10	15
5	15	
6	20	
7	10	20
8	15	
9	20	

N/A= No aplica (No se añadió azúcar y/o fresa)

2.2.3 Caracterización de la materia prima

Se determinó el análisis químico proximal de la leche fluida y la leche en polvo, los métodos analíticos empleados para el análisis se muestran en el cuadro 13, la información obtenida sobre la composición sirvió para realizar el ajuste de sólidos necesarios durante la elaboración de yogur.

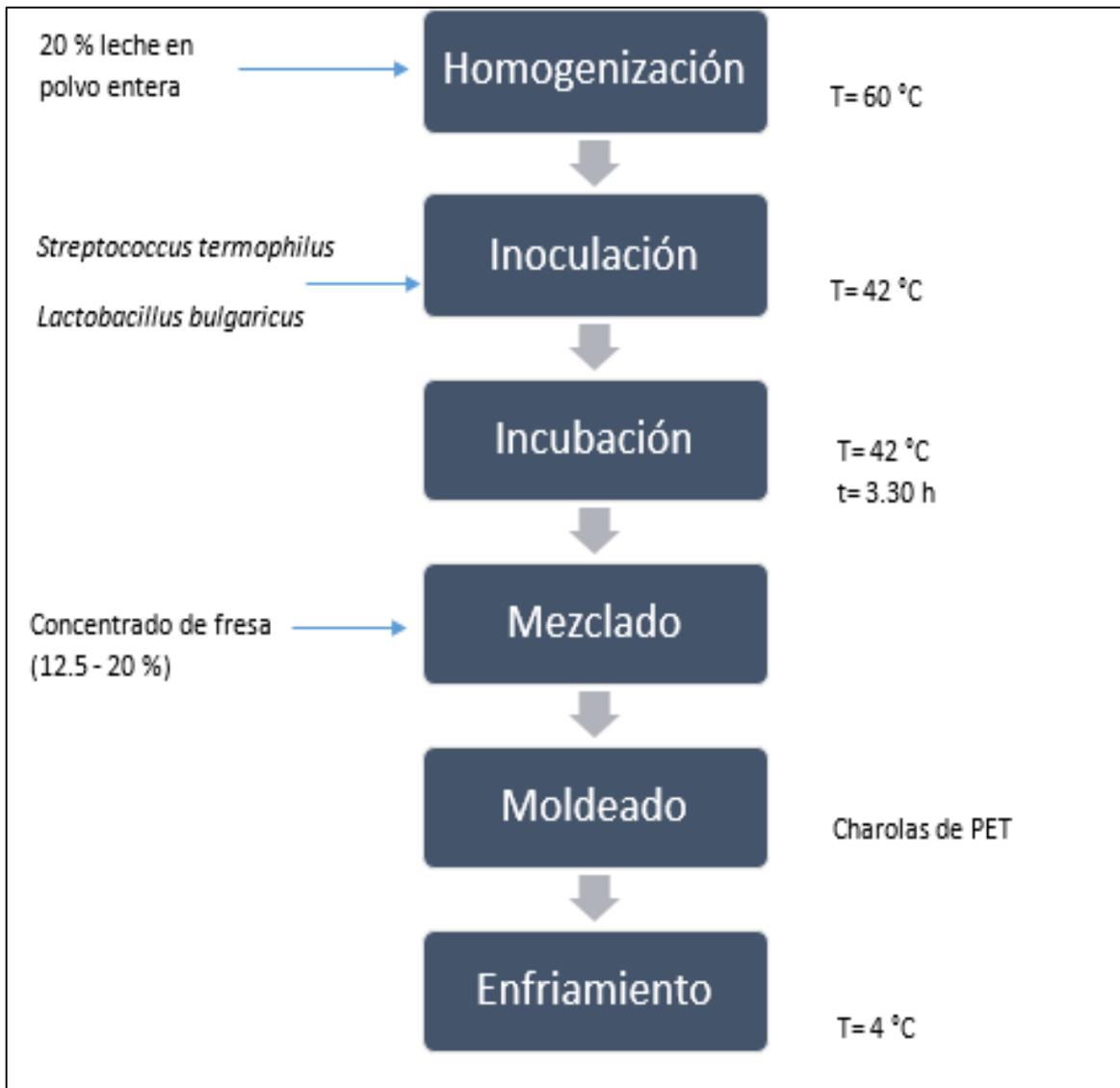
Cuadro 13. Pruebas empleadas para la caracterización de la materia prima.

Materia prima	Parámetro	Técnica	Bibliografía
Leche	Carbohidratos	Lane y Eynon	Apéndice normativo C, NOM-086-SSA1-1994
	Proteína	Microkjeldhal	Numeral 8.5, NOM-155-SCFI-2003
	Lípidos	Gerber	AOAC 2000 989.05
	Humedad	Estufa a 80 °C	NOM-116-SSA1-1994
	Cenizas	Método general	NMX-F-284-SCFI-2011
	Densidad	Lactodensímetro	Pearson 2000
Leche en polvo	Carbohidratos	Lane y Eynon	Apéndice normativo C, NOM-086-SSA1-1994
	Proteína	Microkjeldhal	Numeral 8.5, NOM-155-SCFI-2003
	Lípidos	Roese Gottlieb	Apéndice normativo C, NOM-086-SSA1-1994
	Humedad	Estufa a 80°C	NOM-116-SSA1-1994
	Cenizas	Método general	NMX-F-284-SCFI-2011

2.2.4 Elaboración de yogur

Para la elaboración de yogur natural griego, se prepararon diferentes formulaciones de yogur como se muestra en el cuadro 12(pág. 42), para estandarizar las condiciones de elaboración (contenido de sólidos, cantidad de cepa, tiempo y temperatura de incubación); y corroborar el cumplimiento de las especificaciones estipuladas en la NOM-155-SSA1-2010. El diagrama que se utilizó a lo largo de la experimentación se presenta en la Figura 10 (Diagrama de proceso para la elaboración de yogur), dando cumplimiento al objetivo1.

Figura 10. Diagrama de proceso para la elaboración de yogur



A continuación, se explica el diagrama de proceso para la elaboración de yogur:

- Homogenización: Se calentó la leche durante 15 minutos hasta alcanzar una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, posteriormente se adicionó el 20 % de leche en polvo, para realizar el ajuste de sólidos.
- Inoculación: La leche previamente homogenizada se enfrió hasta una temperatura de $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ para adicionar el cultivo requerido en la elaboración de yogur.

- Incubación: Una vez adicionado el cultivo se ingresó a una incubadora por un tiempo de tres horas y media a una temperatura de 42 °C, durante esta etapa se monitoreo el pH cada 30 minutos.
- Mezclado: Ya obtenido el yogur se adiciona el concentrado de fresa, siguiendo las concentraciones de las formulaciones que se presenta en el cuadro 11 (pág. 42), realizando un mezclado suave.
- Moldeado: Después de mezclar el yogur con fresa se realizó un vaciado en moldes con forma de conglomerados cubriendo 5 mm por espacio.
- Refrigeración: Los moldes con yogur se emplean con polietileno estirable para su almacenamiento en un refrigerador a una temperatura de 5 a 7 °C durante 12 horas para posteriormente ser liofilizadas.

2.2.5 Evaluación sensorial

Para dar cumplimiento al objetivo 2, se evaluaron sensorialmente las 11 formulaciones de yogur (ver Cuadro 12, pag. 42) desarrolladas en la primera etapa de la experimentación, mediante una prueba de aceptación a 200 personas a fin de elegir las formulaciones de mayor preferencia. Se entregaron a cada panelista las muestras codificadas aleatoriamente y el cuestionario correspondiente que se muestra en la Figura 11, donde se solicitó que ordenan los códigos de acuerdo con su preferencia.

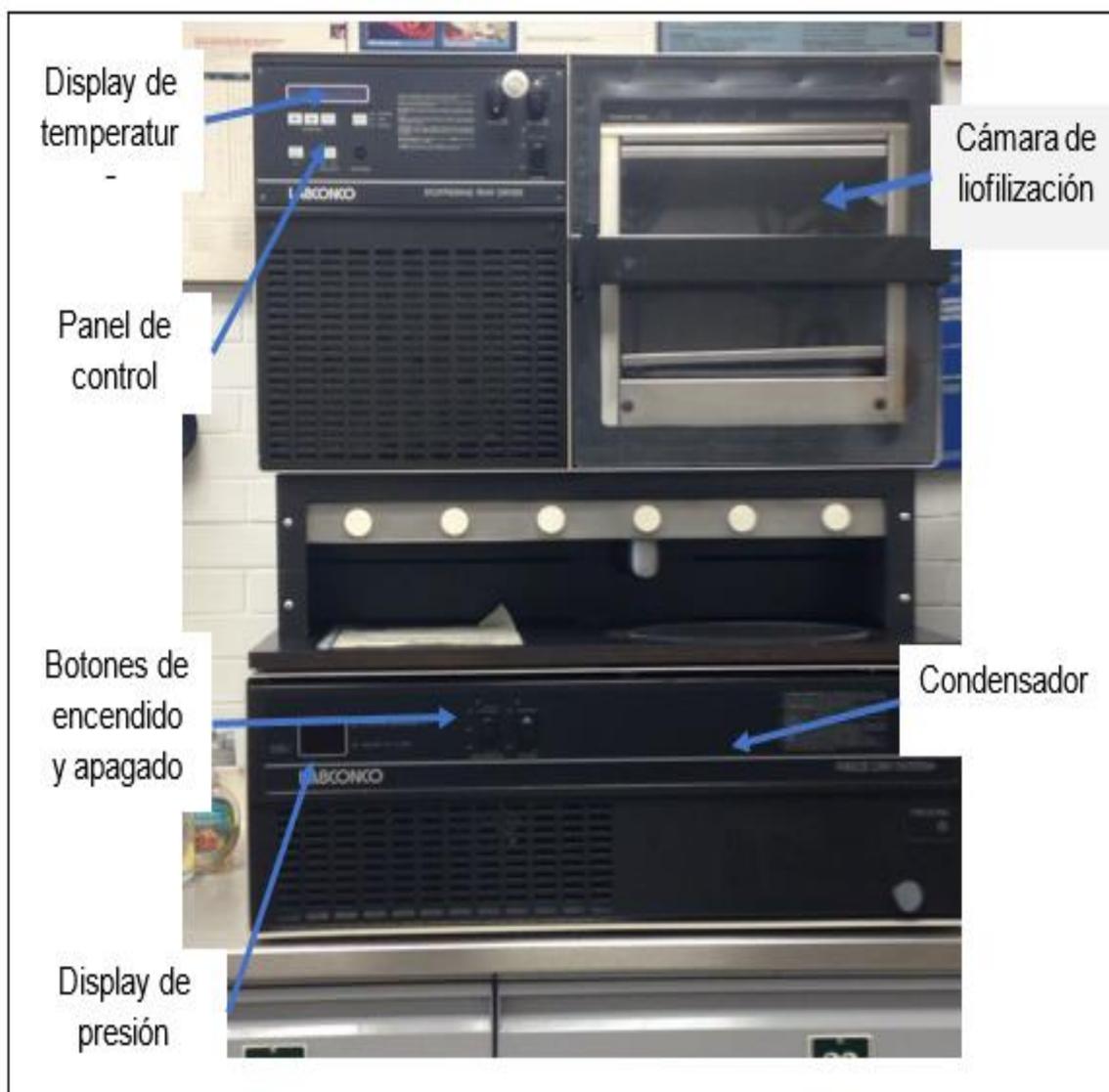
Figura 11. Plantilla de evaluación sensorial

Evaluación sensorial				
<u>"Desarrollo de una formulación para un snack nutritivo a base de yogur"</u>				
Nombre: _____				
Fecha: _____ Edad: _____				
Instrucciones: Enfrente de usted se encuentran 5 diferentes muestras, pruebe de izquierda a derecha las muestras e indique con el número correspondiente de su menor (5) a mayor (1) preferencia para cada muestra no se permiten empates.				
1ZX	6GT	4DR	6SM	2LB

2.3.3 Curvas de secado

Una vez elegidas las formulaciones preferidas por los panelistas, se procedió a realizar las curvas de secado en un liofilizador de cámara, modelo Freeze 6, LABCONCO (Figura 12), para determinar las mejores condiciones (temperatura y tiempo) de liofilización de yogur griego con fresa.

Figura 12. Labconco 6 Liter Benchtop Freeze Dry System (Sistema de liofilización Labconco 6 litros de sobremesa).



A continuación, se describe la metodología que se llevó a cabo para la elaboración de las curvas de secado.

1. Preparación de la muestra.
 - a. Elaboración de yogur griego con fresa.
 - b. Moldeado: Se vació en cajas petri de 5 cm de diámetro, cubriendo 5 mm de espesor.
 - c. Refrigeración: Se sometieron las cajas petri a una refrigeración a una temperatura de 5°C durante 12 h.
2. Congelación: Previa a la liofilización las muestras se congelaron a una temperatura de -14 °C durante 12 h.
3. Liofilización: Las muestras se liofilizaron a diferentes temperaturas como se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14. Condiciones de temperatura y tiempo de liofilización.

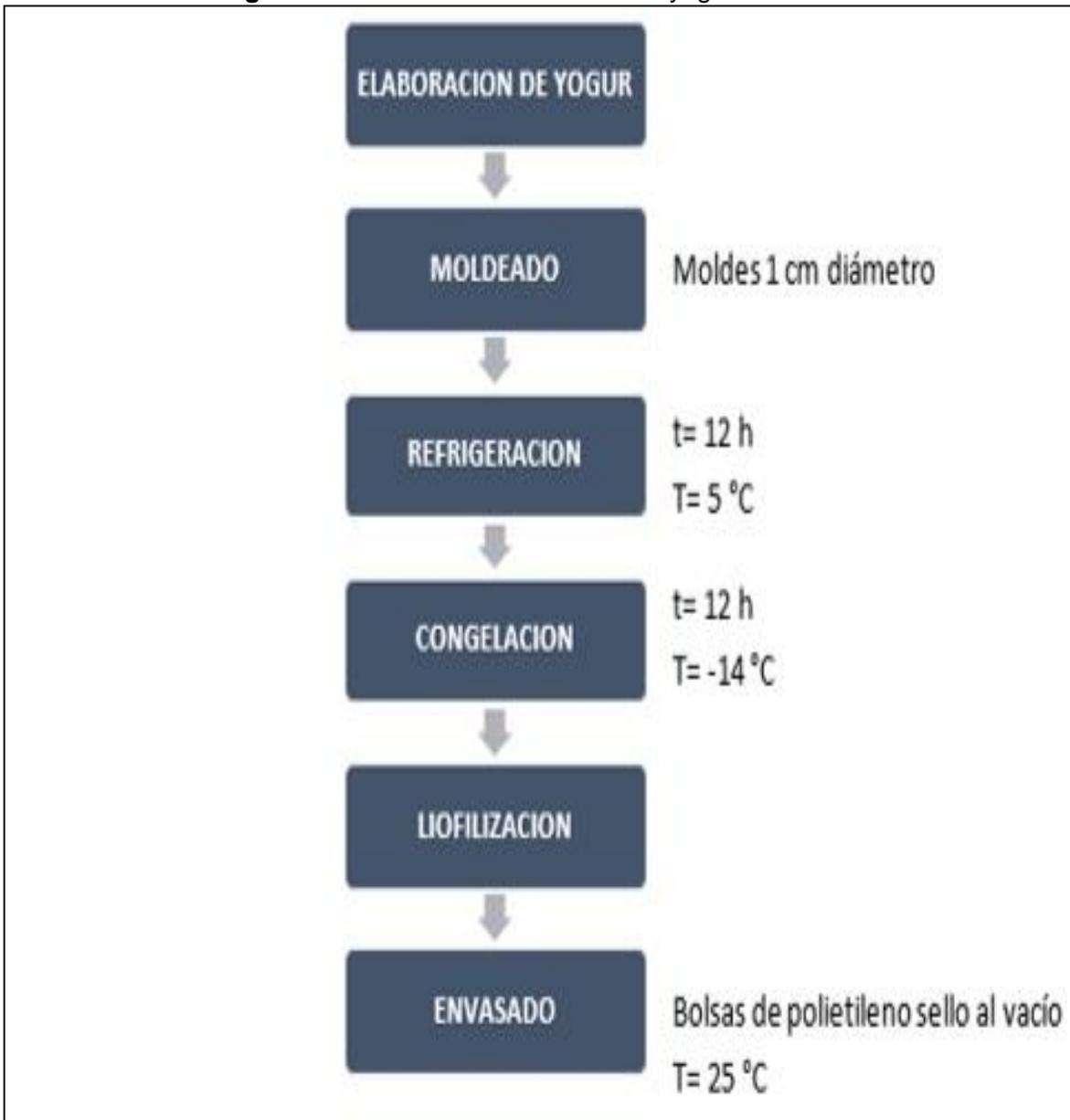
Corrida	Tiempo	0-24 h	24-48 h	48-70 h	70-72 h
1°	Temperatura (°C)	-20	-17	-5	5
2°		-17	-15	-5	5
3°		-14	-12	-5	5

4. Toma de peso de la muestra: Se pesaron las muestras antes, durante y después del proceso, cada 24h se extraían las muestras para pesarse, con el objetivo de graficar la fracción de agua vs. el tiempo. A partir de los resultados obtenidos se estableció la temperatura para el presente trabajo.

2.3.4. Liofilización de yogur griego con fresa

Una vez elegidas las condiciones de proceso (temperatura y tiempo), se procedió a liofilizar el yogur griego con fresa como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Proceso de liofilización de yogur con fresa



Descripción del diagrama de proceso de liofilización de yogur con fresa.

1. Preparación de la muestra.
 - a. Elaboración de yogur griego con fresa.
 - b. Moldeado: Se vacía en moldes de 1 cm de diámetro

- c. Refrigeración: Se sometieron los moldes a una refrigeración a temperatura de 5 °C durante 12 h.
2. Congelación: Previo a la liofilización las muestras se congelaron a una temperatura de -14 °C durante 12 h.
3. Liofilización: Las muestras se liofilizaron a diferentes temperaturas como se muestra en la Cuadro 14, (pág. 48).
4. Envasado: Las muestras se envasaron en bolsas con sello a vacío, las bolsas para vacío están fabricadas con 2 tipos de plásticos con diferentes propiedades, uno de ellos es termosoldable y el otro es un plástico con barrera para mantener los alimentos aislados del ambiente que los rodea ver figura 14. Se almacenaron a temperaturas no mayores de 25 °C, evitando la exposición al sol. Hasta que las muestras fueron evaluadas, no se rompió el vacío.

Figura 14 Bolsas con sello a vacío



2.3.5 Evaluación fisicoquímica

Para conocer el aporte nutrimental del snack liofilizado, se realizó el análisis químico proximal. Las pruebas se muestran en el Cuadro 15, los procedimientos fueron repetidos por triplicado para cada una de las muestras de yogur con fresa.

Cuadro 15. Evaluación fisicoquímica

Parámetro	Método	Fuente
Carbohidratos	Lane y Eynon	NOM-155-SCFI-2003
Cenizas	Método General	NMX-F-607-NORMEX-2002
Humedad	Estufa a 80° C con arena	NOM-116-SSA1-1994
Lípidos	Hidrólisis ácida	NOM-086-SSA1-1994
Proteínas	Microkjeldhal	NOM-155-SCFI-2003

2.3.6 Calidad microbiológica

Durante la elaboración de las muestras, se llevaron a cabo las siguientes medidas para reducir el riesgo de contaminación en el yogur griego con fresa:

- Limpieza y desinfección de superficies inertes y utensilios en contacto directo con materia prima y producto terminado.
- Uso de bata, cofia, cubre bocas y guantes para la manipulación de materia prima y producto terminado.

Para validar que el yogur cumple con los estándares de inocuidad que se establece en la NOM-181-SSA-1997, se realizaron los siguientes análisis microbiológicos que se muestran en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Técnicas aplicadas para el análisis de microorganismos

Microorganismos	Método	Fuente
Coliformes totales	Recuento en placa (Agar rojo-violeta-bilis)	NOM-243-SSA1-2010
E. Coli	Dilución en tubo Múltiple	NOM-243-SSA1-2010
Salmonella spp	Ausencia (Agar nutritivo)	NOM-185-SSA1-200

2.3.7 Viabilidad de microorganismos presentes

Para que el producto pueda considerarse yogur, los microorganismos deben estar en cantidad suficiente: conforme a la norma oficial mexicana NOM-181-SCFI-2010, es imprescindible una cantidad de 10^7 UFC/g (unidades formadoras de colonias / gramo) para que el probiótico mantenga su función, ya que, si baja a 10^6 , el probiótico es incapaz de ejercer efectos beneficiosos para la salud. Es conveniente ingerir al menos una dosis diaria. Si se ingiere de forma alterna, aproximadamente 3 días a la semana, su acción es mucho menor o casi inapreciable.

Para la evaluación de la viabilidad de los microorganismos presentes en el snack liofilizado, se realizó las pruebas que se muestran en el Cuadro 17, los procedimientos fueron repetidos por triplicado.

Cuadro 17. Métodos aplicados para evaluar la viabilidad.

Bacterias ácido lácticas	Método	Bibliografía
L. bulgaricus	Medio MRS	NMX-703-COFOCALEC-2004.
S. termophilus	Medio M17	NMX-703-COFOCALEC-2004.

2.3.7 Evaluación sensorial

Una vez validada la inocuidad del producto, se realizó una evaluación sensorial con un panel de 100 personas, conformado por 100 niños (5 - 10 años), con el objetivo de elegir la formulación con mayor preferencia utilizando la siguiente papeleta (Figura 15).

Figura 15. Plantilla de evaluación sensorial para niños.

EVALUACIÓN SENSORIAL “DESARROLLO DE HOJUELAS DE YOGURT TIPO GRIEGO LIOFILIZADAS SABOR FRESA”	
Nombre:	Edad:
Instrucciones: pequeño prueba las siguientes muestras y marca con una X la carita que mas se parezca a la sensación que tuviste al probar el producto.	

Muestra 1				
				
Odié 1	No me gustó 2	Indiferente 3	Me gustó 4	Me encantó 5
Muestra 2				
				
Odié 1	No me gustó 2	Indiferente 3	Me gustó 4	Me encantó 5
Muestra 3				
				
Odié 1	No me gustó 2	Indiferente 3	Me gustó 4	Me encantó 5

2.3.8 Análisis estadístico

Se utilizó una prueba de hipótesis por intervalo de confianza para las determinaciones fisicoquímicas de las materias primas que se utilizaron en la elaboración del yogur con el fin de contrastar los resultados obtenidos vs los datos encontrados bibliográficamente, utilizando un intervalo de confianza del 95 %.

Para los resultados obtenidos del objetivo 5 se realizó un ANOVA, con un nivel de confianza del 95 %, y posteriormente una prueba de hipótesis para ver si entre las formulaciones se encontraban diferencias significativas en cada una de sus determinaciones fisicoquímicas.

CAPITULO 3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

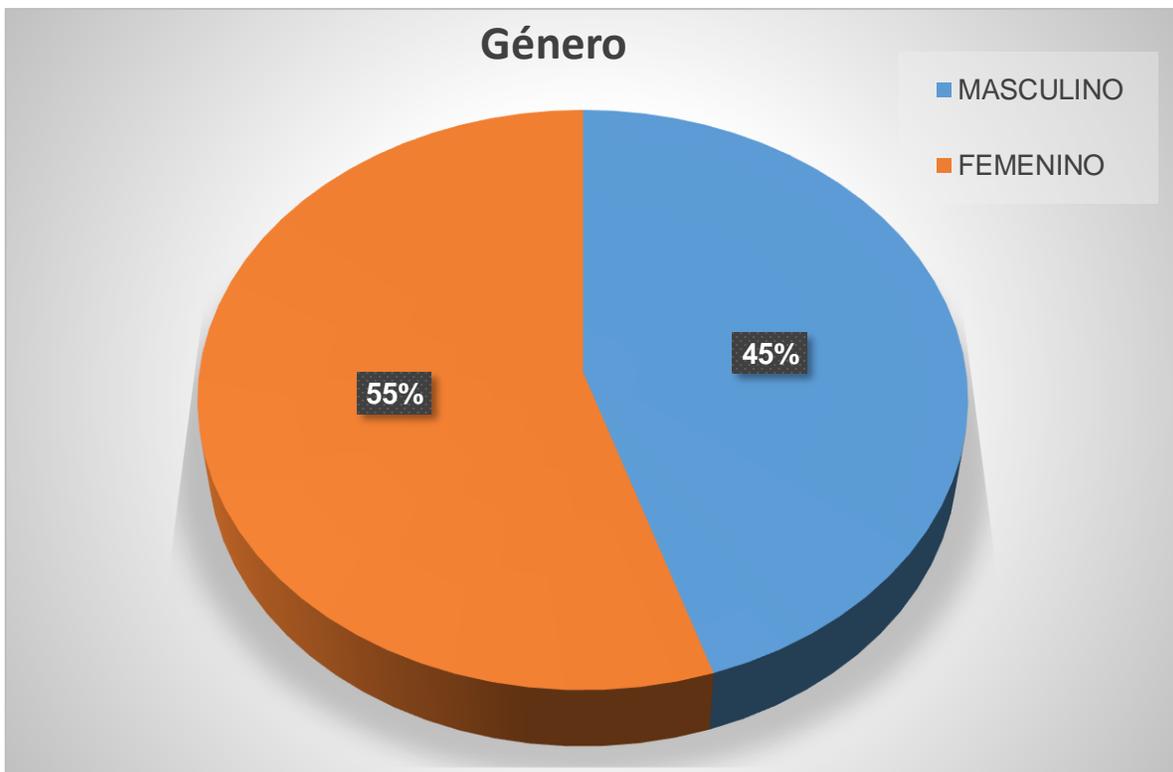
3.1 Elaboración de yogur

3.1.1 Estudio de Mercado

Para la elección del sabor de yogur a liofilizar se realizó una encuesta de mercado a 100 personas, utilizando la papeleta mostrada en la figura 11 (pág.45), obteniendo los siguientes resultados.

Los resultados a la pregunta 1 se muestran en la Figura 16

Figura 16. Resultados pregunta 1 encuesta de estudio de mercado



Dentro de los encuestados se observó que el género que predominó entre los encuestados fue el femenino representando el 55%.

La figura 17 hace referencia a los resultados obtenidos de la pregunta 2 ¿Es usted consumidor de yogur?

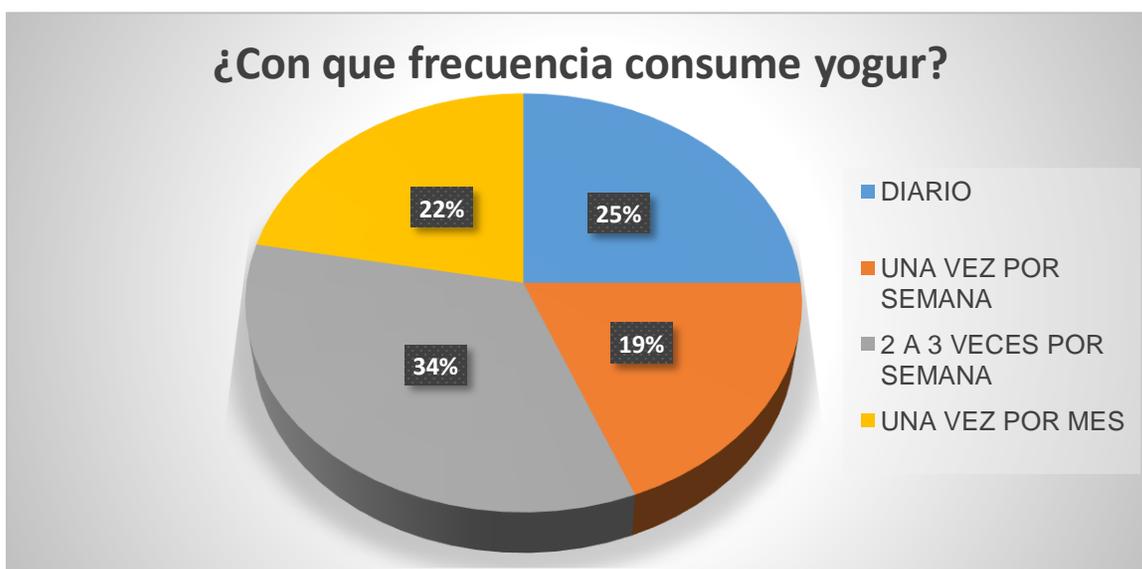
Figura 17. Resultados pregunta 2 encuesta de estudio de mercado



De las 100 personas encuestadas el 87% resultaron ser consumidores de yogur mientras que el otro 13% respondió que no lo consume debido a que son intolerantes a la lactosa.

En la figura 18 se representan los resultados referenciados a la frecuencia en que los consumidores consumen yogur.

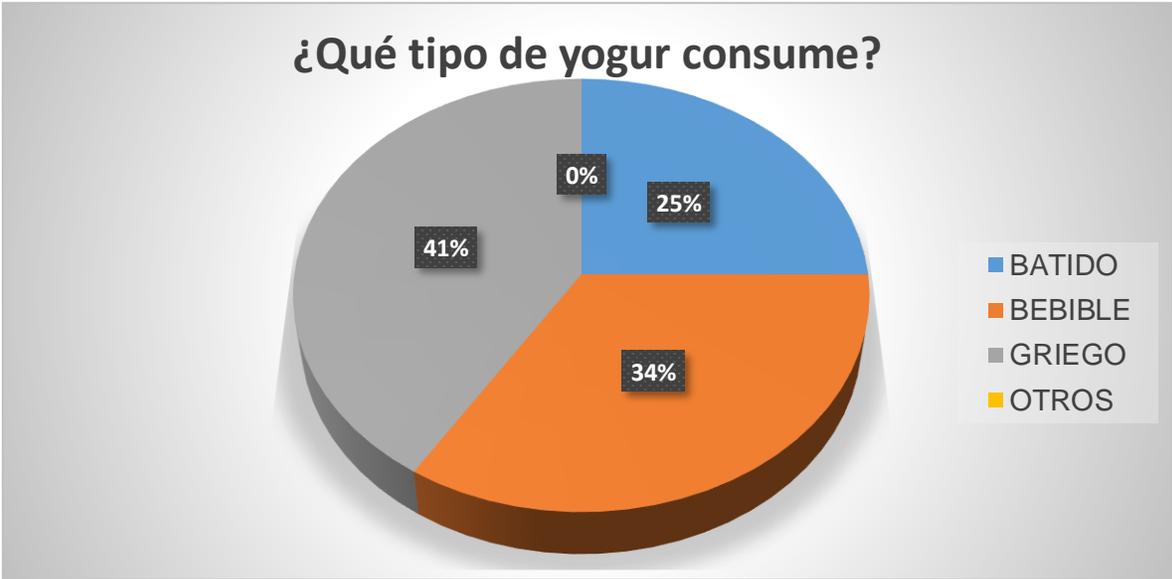
Figura 18. Resultados pregunta 3 encuesta de estudio de mercado



Del 87% de la población que respondió que, si consume yogur, respectivamente el 34% respondió que lo consume en una frecuencia de dos a tres veces por semana, seguido de un 25% lo consumen diario, con un 22% los consumidores respondieron una vez por mes y por último con un 19% una vez por semana, durante la encuesta los consumidores, mencionaban que el yogur es un alimento de precio accesible el cual se puede consumir en cualquier lugar.

En la pregunta 4 ¿Qué tipo de yogur consume?, se colocaron las opciones batido, bebible, griego y otros, para dar punto de partida en la elección del mismo, para el presente proyecto. Los resultados se muestran en la figura 19.

Figura 19. Resultados pregunta 4 encuesta de estudio de mercado



Para la presentación de yogur el 41% prefiere el yogur griego, seguido de 34% se inclinó por yogur bebible y el yogur batido quedó en último lugar, al obtener estos resultados se decidió trabajar con yogur griego, para la elaboración del snack

Por último, se preguntó el sabor preferido por los consumidores teniendo el resultado más alto con un 39% sabor fresa, y el porcentaje más bajo con un 7% de otros sabores entre los cuales destacaron guayaba, limón y zarzamora.

Figura 20. Resultados pregunta 5 encuesta de estudio de mercado



Estos resultados dieron pauta a elegir el tipo de yogur, así como el sabor para desarrollar la formulación del snack.

3.1.2 Evaluación fisicoquímica de materia prima (leche líquida y en polvo).

Para lograr obtener un yogur con el cual cumpliera con las características requeridas se evaluó fisicoquímicamente la materia prima obteniendo los resultados mostrados en los cuadros 18 y 19. Se realizó un ANOVA con un nivel de confianza del 95%, para la leche líquida y la leche en polvo, realizando una comparación de lo que se determinó experimentalmente comparándolos con los resultados encontrados bibliográficamente.

3.1.2.1 Leche líquida

Cuadro 18. Análisis químico proximal leche.

Determinación	Bibliográfico	Experimental
Humedad	86.5 ^a	88.3 ^b ± 0.90
Cenizas	0.73 ^a	0.70 ^a ± 0.13
Proteínas	3.40 ^a	3.15 ^b ± 0.13
Carbohidratos	4.55 ^a	4.55 ^a ± 0.22
Grasa	4.25 ^a	3.32 ^b ± 0.13

Para el caso de la leche líquida se aprecia que en las determinaciones de humedad, proteína y grasa hay diferencia significativa entre los resultados obtenidos experimentalmente y los resultados obtenidos bibliográficamente de acuerdo con Estrada, M., (2011), esto se puede explicar debido a diferencias genéticas de una misma especie. Se obtienen leches con distintas propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales. En este caso se ocupó una leche comercial, sus parámetros fisicoquímicos concuerdan con lo reportado en su información nutrimental. Las diferencias encontradas entre la leche comercial y los datos reportados bibliográficamente se derivan a los procesos llevados a cabo en cada una de las plantas procesadoras de productos lácteos, durante la estandarización con el objeto de ajustar su contenido en materia grasa a los porcentajes exigidos por la legislación, <https://cienciaycampo.wordpress.com/2011/03/13/pasterizacion-esterilizacion-y-uht/>.

3.1.2.2 Leche en polvo

Cuadro 19. Análisis químico proximal leche en polvo

Determinación	Bibliográfico	Experimental
Humedad	1.10 ^a	1.27 ^a ± 0.21
Cenizas	6.00 ^a	5.54 ^a ± 0.48
Proteínas	24.00 ^a	22.32 ^a ± 1.15
Carbohidratos	36.00 ^a	35.22 ^a ± 1.17
Grasa	27.00 ^a	27.42 ^a ± 1.16

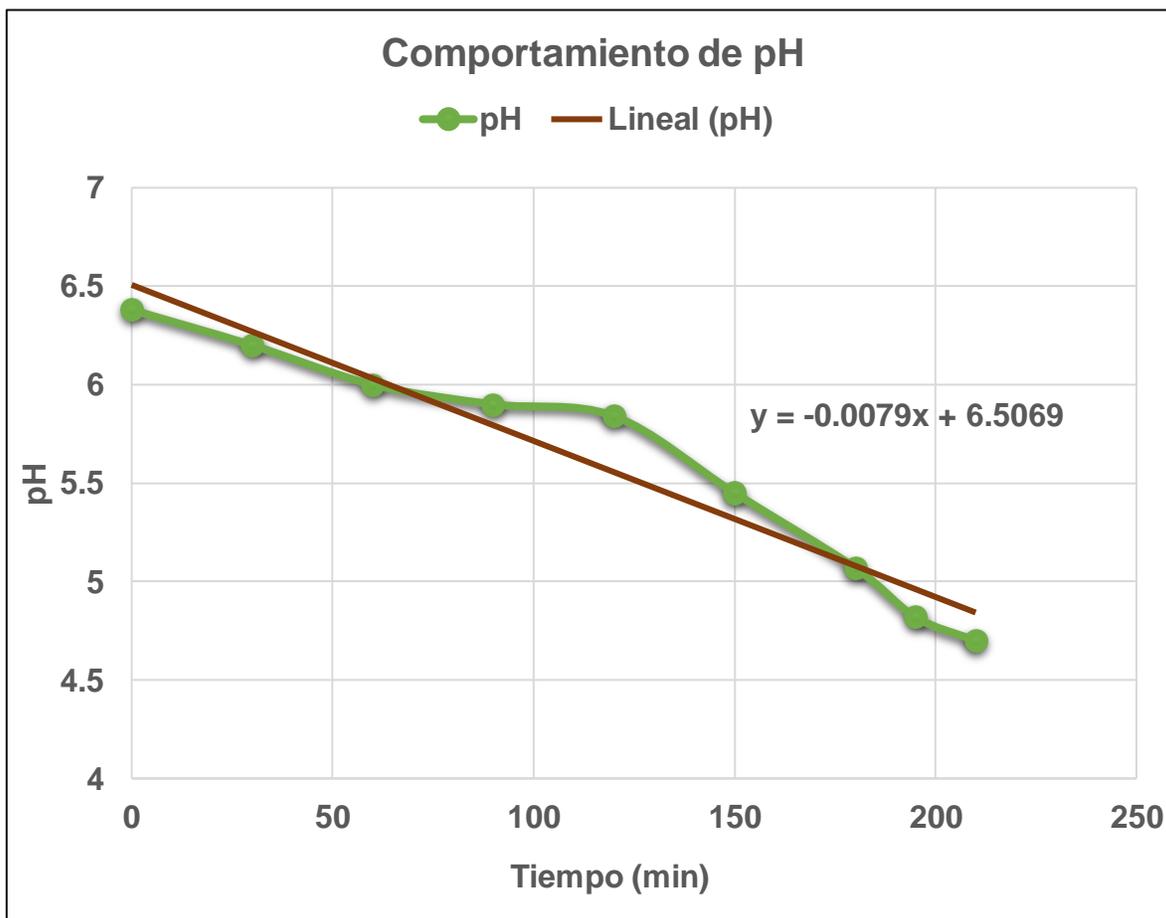
Los resultados obtenidos tanto de la leche líquida como de la leche en polvo se apegaron a los rangos que establece la NOM-155-SSA1-2010, requeridos para la elaboración de yogur.

3.1.3. Elaboración de yogur

3.1.3.1 Monitoreo de pH durante la fermentación

Para obtener un yogur griego de calidad y estable, Rivera y Ramírez (2009) marcan que se debe llegar a un pH de 4.7 aproximadamente, se monitoreo el proceso de fermentación a manera de estandarizar el tiempo de fermentación de la cepa utilizada, a continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el monitoreo (ver Figura 21).

Figura 21. Monitoreo de pH.



Como se observa en la gráfica el pH mantuvo un comportamiento lineal ya que al incrementar el tiempo de fermentación el pH iba disminuyendo, al llegar a 3.5 h, se detuvo el proceso de fermentación al alcanzar el pH óptimo para obtener un yogur con buena estabilidad. De acuerdo con Rivera y Ramírez (2009), controlar el pH durante la fermentación de la leche es muy importante para no obtener un defecto en el yogur ya sea grumoso, granulado, desuerado o de cuerpo débil.

3.1.3.2 Evaluación fisicoquímica del yogur

Una vez elaborado el yogur se evaluó fisicoquímicamente el producto, antes de adicionar fruta, y se obtuvieron los resultados mostrados en el cuadro 20.

Cuadro 20. Análisis químico proximal Yogur.

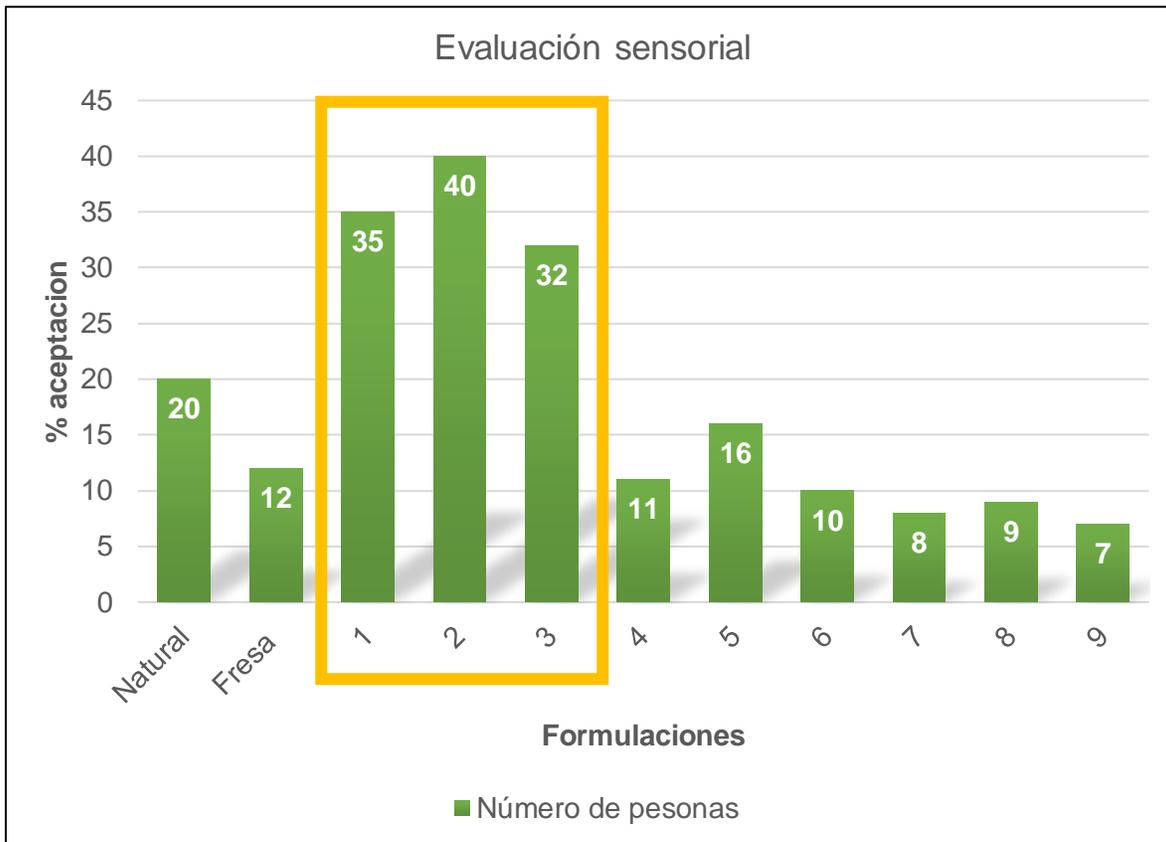
Determinación	Yogur	Bibliografía
Humedad	85.57 ^a ± 0.51	86.00 ^a
Cenizas	0.69 ^a ± 0.04	0.70 ^a
Proteína	3.62 ^a ± 0.06	3.60 ^a
Carbohidratos	6.45 ^a ± 0.19	6.30 ^a
Grasa	3.23 ^a ± 0.25	3.40 ^a

Se observa que en todas las determinaciones realizadas al yogur (humedad, cenizas, proteína, carbohidratos y grasa) no hubo diferencia significativa entre las determinaciones obtenidas experimentalmente y los resultados reportados en la bibliografía.

3.1.3.3 Evaluación sensorial

A continuación, en la figura 22, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación sensorial que se hizo para elegir las tres mejores formulaciones.

Figura 22. Porcentaje de aceptación de las formulaciones.



En la figura 22, se observa que las formulaciones con mayor aceptación entre los consumidores tenían 12.5 % de fresa y se variaba el azúcar en un rango de 10, 15 y 20% respectivamente; teniendo como las formulaciones favoritas 1, 2 y 3.

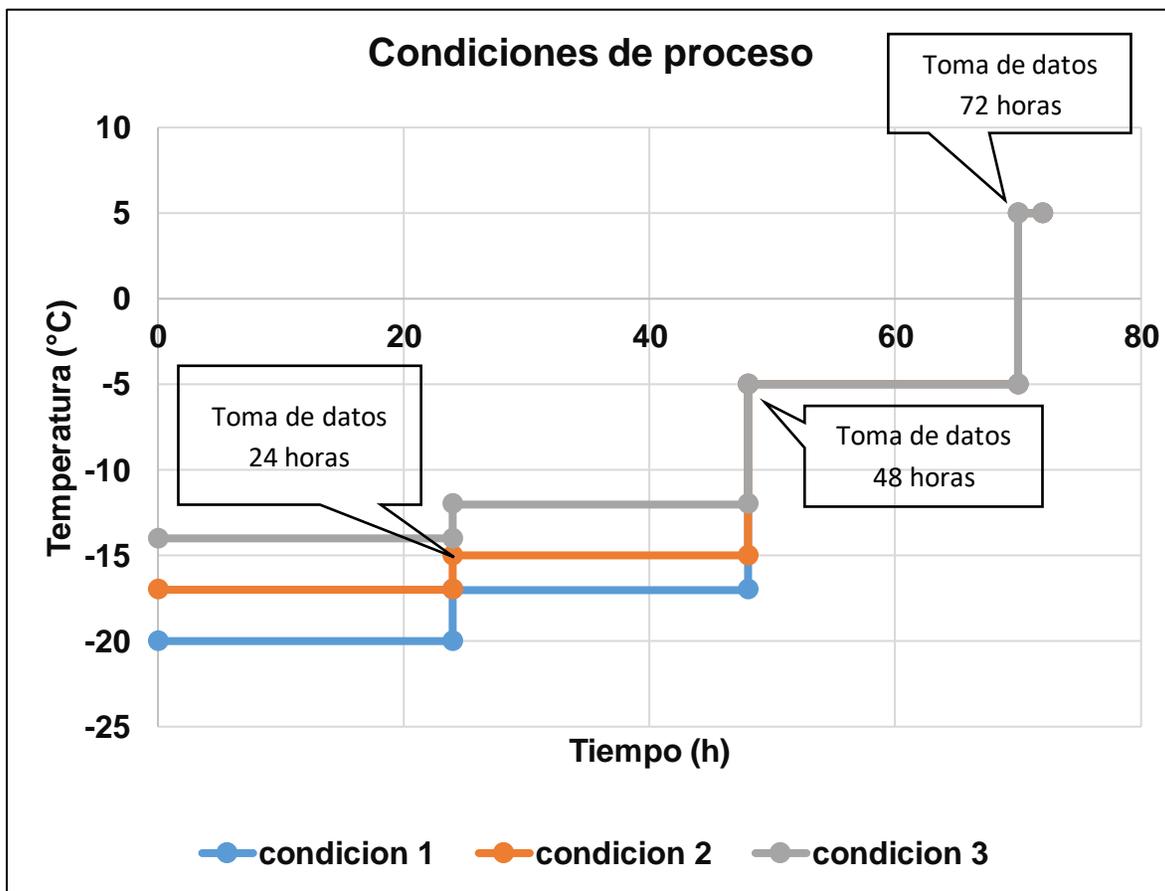
La formulación 2 (12.5% fresa y 15% azúcar) tuvo una aceptación del 40 % obteniendo el primer lugar, en segundo lugar, la formulación 1 (12.5% fresa y 10 % azúcar) y por último la formulación 3 (12.5% fresa y 20 % azúcar).

El comportamiento de la gráfica indica que entre más aumentaba la cantidad de fresa el producto era menos aceptable, platicando con los consumidores, el rechazo se debía al grado de acidez del producto, lo cual se puede explicar por el hecho de que en estas formulaciones además de la acidez natural del yogur, se adicionaba el aportado por la fresa de forma natural.

Al tener las tres formulaciones preferidas por los consumidores 1,2,3 (pág. 42), se realizaron las curvas de secado mismas que se pueden observar en la Figura 23, a manera de establecer las condiciones de trabajo de liofilización.

En la Figura 23 se muestran las tres condiciones que se manejaron durante el proceso de liofilización donde se observan los cambios de temperatura en cada una de las mesetas que se establecieron para determinar la humedad de la muestra, para graficar las curvas de secado de las tres formulaciones preferentes por los consumidores y seleccionar la condición ideal para liofilizar el yogur griego de fresa.

Figura 23. Condiciones de proceso de liofilización



Después de obtener los datos necesarios para obtener las curvas de secado, se trazan graficas se muestran en la figura 24 en ella se observa la disminución del contenido de humedad en función del tiempo, así como el comportamiento de la curva.

Snowman (1997) expone que se debe a que en el secado secundario hay remoción del agua ligada.

Después de las 48 horas, se alcanzó un porcentaje de humedad en el producto del 4%, durante las siguientes 24 horas el porcentaje de humedad se mantuvo constante, teniendo como resultado que el proceso de liofilización ha finalizado llega al cumplir las 48 horas, lo cual permitió fijar el tiempo de secado para realización de este proyecto.

La condición recomendada para la liofilización fue de -14°C, ya que se tiene un ahorro aproximado del 35 % del costo de energía utilizada, que emplear una temperatura de -20 °C.

Una vez obtenidos los conglomerados liofilizados se realizó el análisis químico proximal que se muestran en el cuadro 21, las pruebas se hicieron por triplicado para las tres formulaciones.

Cuadro 21. Análisis químico proximal de las tres formulaciones liofilizadas

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
HUMEDAD	4.28 ^a ± 0.18	4.26 ^a ± 0.19	4.36 ^a ± 0.18
CENIZAS	33.51 ^a ± 0.60	33.53 ^a ± 0.58	33.5 ^a ± 0.60
PROTEÍNA	21.70 ^a ± 0.63	21.70 ^a ± 0.63	21.78 ^a ± 0.52
CHOS	19.57 ^a ± 0.36	28.62 ^b ± 1.25	34.23 ^c ± 0.46
GRASA	15.74 ^a ± 0.36	10.64 ^b ± 0.97	7.02 ^c ± 0.63

En el Cuadro 20 (ver página 60) se observa que en la determinación de carbohidratos y grasa hay diferencia significativa entre las tres muestras de yogur liofilizado, lo cual era esperado ya que en las tres formulaciones se utilizaron diferentes porcentajes de azúcar, así como también se contempla el azúcar natural de la leche (lactosa), el comportamiento obtenido en estos resultados fueron los esperados.

3.1.3.4 Microbiología de producto terminado

Se realizó un análisis microbiológico a los conglomerados de yogur liofilizado, para garantizar la inocuidad de los mismo, obteniendo los resultados mostrados en el cuadro 22.

Cuadro 22. Resultados del análisis microbiológico de producto terminado

Microorganismo	Límite máximo	Resultados
Coliformes totales	<10 UFC/g o mL	0 UFC/g o mL
Salmonella	Ausente en 25 g	Ausente en 25 g
Escherichia Coli	3 NMP/g mL	0 NMP/g mL

Los resultados indican que el producto cumple con las especificaciones marcadas en la NOM-243-SSA1-210, lo cual señala que se elaboró bajo condiciones higiénicas en el laboratorio.

Es importante evaluar la viabilidad de los microorganismos acidolácticos después de la liofilización, para validar que luego del tratamiento estos siguen teniendo su función activa.

Por lo que se corrió la prueba de viabilidad obteniendo los resultados mostrados en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Resultados de viabilidad de bacterias ácido lácticas

Bacterias Acido Lácticas	Resultados	Bibliografía
L.Bulgaricus	10^7 UFC/g	NMX-703-COFOCALEC-2004.
S. Termophilus	10^7 UFC/g	NMX-703-COFOCALEC-2004.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el producto aún después de liofilizar se considera yogur ya que cumple con la concentración de lactobacilos requerida para considerarse un probiótico para mantener la función de ejercer efectos benéficos para la salud. De acuerdo con www.biomantial.com 2008 "El yogur es considerado un alimento fundamental para la

salud, debido a que es un producto del grupo probiótico, los cuales contienen varias colonias de microorganismos vivos que influyen positivamente en el organismo”.

3.1.3.5 Evaluación sensorial por niños

Se realizó una evaluación sensorial tipo hedónica con niños entre 5 y 10 años para determinar cuál era el conglomerado favorito, por ellos. Los resultados se muestran en el cuadro 24.

Cuadro 24. Evaluación sensorial

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
4.08 ^a ± 1.04	3.34 ^b ± 1.24	4.64 ^c ± 0.59

Se tienen diferencias significativas entre los tres conglomerados, el preferido por los niños fue la muestra 3 la cual contenía 12.5 % de fresa y 20% azúcar, esto se le atribuye a su sabor más dulce, por supuesto debido a que se le añadió una mayor cantidad de azúcar.

Por lo tanto, la muestra 3 se puede considerar un alimento con altos contenidos nutritivos que pueden favorecer el crecimiento y desarrollo de los niños, gracias a su sabor los niños amarán el producto.

Además de que es un producto que no requiere de refrigeración y se puede almacenar a temperatura ambiente y larga vida útil tomando como referencia los productos liofilizados comercializados en estados unidos.

CONCLUSIONES

El estudio de mercado indica que la población femenina es la que mayormente consume yogur tipo griego de fresa, lo que ayudo a la elección del tipo de yogur, así como el sabor para el presente trabajo.

Tanto los resultados de la materia prima (leche líquida y leche en polvo), se apegaron a los rangos que establece la NOM-155-SSA1-2010, requeridos para la elaboración de yogur, esto favoreció la consistencia final del yogur griego.

De las 11 formulaciones propuestas al inicio de la experimentación, solo se trabajó con las 3 que fueron seleccionadas por medio de evaluación sensorial, considerando una variación del 12.5, 15 y 20%.

Se logró determinar las condiciones más favorables de liofilización para el yogur griego de fresa teniendo un ahorro de temperatura de 35 %, lo que esto representando en términos de energía se empleó un ahorro de importancia.

El yogur realizado en el laboratorio estuvo dentro de los parámetros registrados bibliográficamente, lo cual indica que el proceso de yogur se llevó acabo de manera correcta.

El análisis microbiológico realizado como mecanismo para determinar la calidad microbiológica del producto fue favorable, lo que demuestra que el producto se desarrolló bajo Buenas Prácticas de Manufactura al no exceder los límites establecidos en la NOM-243-SSA1-2010, obteniendo un producto inocuo.

Es importante mencionar que el proceso de liofilización no afecta la viabilidad de las bacterias propias del yogur, debido que el recuento de bacterias lácticas vivas en el producto final permitió corroborar que el producto puede ser denominado "Yogurt" de acuerdo a los valores requeridos de las bacterias ácido lácticas por la NOM-243-SSA1-2010 de referencia (10^7 UFC/g), así mismo, el número total de bacterias lácticas viables, cumple con lo requerido para poder denominar al Yogurt como Probiótico (10^9 UFC/g), teniendo la misma funcionalidad causando un bienestar a la flora intestinal de las personas consumidoras.

De acuerdo a la encuesta realizada a los niños, estos tuvieron una preferencia muy grande por la muestra 3 la cual contenía 12.5 % de fresa y 20% azúcar, esta como se observa en la formulación era la que más porcentaje de azúcar contenía, y permitió que la consistencia fuera más agradable.

RECOMENDACIONES

Como se mencionó anteriormente la liofilización es un proceso el cual ayuda alargar la vida de anaquel, por lo que se sugiere realizar el estudio de vida de anaquel para determinar el tiempo de vida de un producto lácteo liofilizado, esto con el objetivo de que se mantenga su funcionalidad probiótica.

Se recomienda realizar yogur liofilizado con diferentes frutas, de tal forma de poder ofertar diferentes productos a los consumidores.

Pensando en la posible comercialización de un producto liofilizado, se considera de interés determinar el material de empaque más adecuado para un producto de yogur liofilizado, buscando proteger al máximo la viabilidad de los microorganismos y sus propiedades sensoriales.

CAPITULO 6. BIBIOGRAFIA

- 1 López-Malo, A., Palou, E. (2008). Freeze-Drying of fruits and vegetables: process variables, quality and stability. En C. Hui, Food Drying Science & Technology. Destech Publications. Inc. Pensilvania, EUA. pp. 421-423.
- 2 Amiot J. (1991). Ciencia y tecnología de la leche. Principios y aplicaciones. Zaragoza, España: Editorial Acibia, S. A.
- 3 Jaramillo, Z. (2007). Elaboración de yogurt simbiótico. Tesis para la obtención del título de Ingeniería en industrialización de alimentos. Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad de Ciencias de la Ingeniería.
- 4 Early R., (2000), Tecnología de los productos lácteos. Zaragoza, España: Editorial Acibia, S. A.
- 5 Josep, M., Shelly, R. (2004). Tecnología de productos lácteos. Barcelona, España: Editorial UPC.
- 6 Franks, F. (1998). Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice. European J. of Pharmaceutics and Biopharmaceutics; 45: 221-229.
- 7 Geankopolis, C. (2006). Procesos de transporte y operaciones unitarias. Distrito Federal, Mexico: Editorial Continental.
- 8 Snowman, J. (1997). Freeze Dryers. En Baker C., & Baker G. L., Industrial Drying of food. Inglaterra: Blakie Academic & Professional. pp. 135.
- 9 Aranceta, J., Serra, L. (2004). Leche, Lácteos y Salud. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- 10 Chandan R., (2006), Manufacturing yogur and fermented milks. EUA: Editorial Blackwell Publishing
- 11 Estrada M., (2011), El libro blanco de la leche y los productos. México: Litho Offset Imprenta
- 12 Lactología Técnica, D.R. Veissere, 1998
- 13 DORANTES A, PARRALES V (2014); Elaboración de un yogur batido simbiótico, utilizando prebióticos naturales (inulina), sintéticos (polidextrosa) y mezcla (natural + sintético) tesis que para obtener el título de: ingeniera en alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
- 14 Badui, S., (2006). Química de los alimentos. México: Editorial Pearson

- 15 <https://cienciaycampo.wordpress.com/2011/03/13/pasterizacion-esterilizacion-y-uh/>
- 16 Norma Oficial Mexicana NOM-181 -SCFI-2010. Yogurt, Denominación, Especificaciones Fisicoquímicas y Microbiológicas, Información comercial y Métodos de prueba.
- 17 Economía, (2012), Análisis del sector lácteo en México, consultar en (http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionsectorial/analisis_sector_lacteo.pdf) 20-04-2015; 05:16
- 18 Ramírez R., (2010), Elaboración de Yogur. Lima, Perú: Editorial Macro
- 19 Microempresa, (2005), Elaboración casera de yogurt, Lima, Perú: Editorial Macro EIRL.
- 20 Norma del Codex para las fresas congeladas rápidamente 1 CODEX STAN 52-1981
- 21 Tamime, A., Robinson, R., (1991), Yogur Ciencia y Tecnología. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- 22 Zelaya, B., (1998), Elaboración de yogurt liquido en Zamorano y su aceptación en el mercado de Tegucigalpa. Tesis Ing. Agrícola. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras
- 23 López, A., García, M., Quintero, A., (2002), Biotecnología alimentaria. Distrito Federal, México: Editorial Limusa, Quinta edición, pp. 163-174.
- 24 Hernández, A., Alfaro, I., Arrieta R., (2003), Microbiología Industrial. Distrito Federal, México: Editorial EUNED, pp. 66-74.
- 25 Srivastava, M., (2008), Development and Manufacture of Yogurt. India: Editorial, Alphasuf Science International. pp440
- 26 Gil, Á., (2010). Tratado de Nutrición. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana
- 27 Rivera, J., Ramírez, M., (2009). Elaboración de Yogur con Probióticos e Inulina. Revista Facultativa de Agronomía, p223-242.
- 28 www.biomanantial.com, 2008
- 29 www.macroestetica.com/.../el-yogur-sus-propiedades-ybeneficios-en-la-salud-de-la-piel, 2010

- 30 Fellows, P., (2007), Tecnología del procesado de los alimentos. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- 31 Rangel, M. (2004), Liofilización de guacamole. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos. Universidad de las Américas., Puebla, México.
- 32 Ramírez - Nava, J., (2006). Liofilización de alimentos. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- 33 Alzamora, S., (2008), Freeze-drying. En C. Hui, Food drying science & technology. Pensilvania, EUA: Destech Publications Inc. pp.403-405
- 34 Brennan, J. (1998)., Las Operaciones Unitarias en la Industria en Alimentos. Zaragoza, España: Editorial Acribia, Tercera edición.
- 35 Heldman, D., Hartel, R., (1997). Principles of food processing. Hall Book. New York, E.U.A.
- 36 Sharma, S., Mulvaney, S., Rizvi, S., (2003), Ingeniería de alimentos Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Nueva York, EUA: Editorial Limusa.
- 37 Barreto, H., (1966), Liofilización un método de secado para alimentos. Lima, Perú: Instituto interamericano de ciencias agrícolas.
- 38 Cheffel J., Cheffel H., Besançon, (1977), Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- 39 Potter, N. (1970). La ciencia de los alimentos., D. F., México: Editorial Edutex S.A., Segunda edición.
- 40 King, C., Lam, W., Sandall, O., (1968) Physical Properties important for freeze-drying poultry meat. Food Technology 22:1302
- 41 Kramer, A. (1973). Food texture - definition, measurement and relation to other food quality attributes. En Kramer, A. y Szczesniak, A. S. Texture Measurements of food. Países Bajos: Reidel Publ. Dordrecht, pp. 1 -9
- 42 Christensen, C., (1984). Food Texture Perception. Advances in Food Research, 29:159- 199.
- 43 Edwards, M. (2001). Hortalizas y frutas. En Rosenthal A., Textura de los alimentos. Zaragoza, España: Editorial Acribia. pp. 251 -264.
- 44 Marín, E., Lemus, R., Flores, V., Vega, A., (2006), La rehidratación de alimentos deshidratados. Chile: Revista Chilena de Nutrición. 33(3):1-19